

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MAYTÊ GALVÃO PEREIRA DE CAMARGO

DESIGN DE PRODUTOS BIOMIMÉTICOS VISANDO A SUSTENTABILIDADE NAS
EDIFICAÇÕES: Ferramenta de Solução Biomimética Orientada pelos Sistemas de
Certificações Ambientais

CURITIBA

2016

MAYTÊ GALVÃO PEREIRA DE CAMARGO

DESIGN DE PRODUTOS BIOMIMÉTICOS VISANDO A SUSTENTABILIDADE NAS
EDIFICAÇÕES: Ferramenta de Solução Biomimética Orientada pelos Sistemas de
Certificações Ambientais

Dissertação apresentada como requisito
para obtenção do título de mestre em
Design do Curso de Mestrado em Design
da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Alexandre V. Pelegrini

CURITIBA

2016

**Catálogo na publicação
Biblioteca de Ciências Humanas e Educação - UFPR**

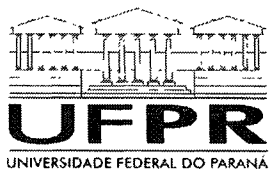
Camargo, Maytê Galvão Pereira de

**Design de produtos biomiméticos visando a sustentabilidade nas edificações:
ferramenta de solução biomimética orientada pelos sistemas de certificações
ambientais / Maytê Galvão Pereira de Camargo.- Curitiba, 2016.
145 f.**

**Orientador: Prof. Alexandre V. Pelegrini
Dissertação (Mestrado em Design) – Setor de Ciências Humanas da
Universidade Federal do Paraná.**

**1.Bioenergética. 2. Conforto térmico nas edificações . 3. Design –
Desenvolvimento de produtos. 4.Design e sustentabilidade. I Título.**

CDD 745.2

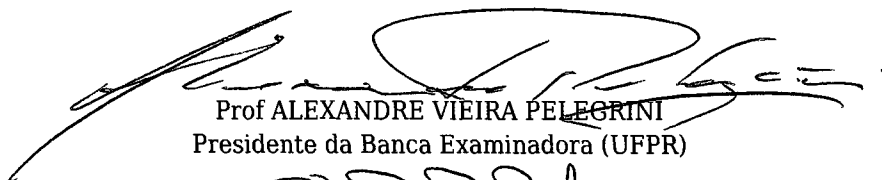


MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor ARTES, COMUNICAÇÃO E DESIGN
Programa de Pós Graduação em DESIGN
Código CAPES: 40001016053P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em DESIGN da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **MAYTE GALVAO PEREIRA DE CAMARGO**, intitulada: "**DESIGN DE PRODUTOS BIOMIMÉTICOS VISANDO A SUSTENTABILIDADE NAS EDIFICAÇÕES: Ferramenta de Solução Biomimética Orientada pelos Sistemas de Certificações Ambientais**", após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO.

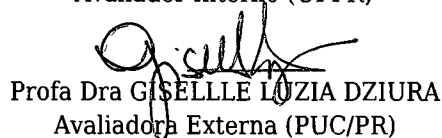
CURITIBA, 31 de Maio de 2016.



Prof ALEXANDRE VIEIRA PELEGRINI
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)



Prof DALTON LUIZ RAZERA
Avaliador Interno (UFPR)



Profa Dra GISELLE LUZIA DZIURA
Avaliadora Externa (PUC/PR)

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Sonia e Cyro,
ao meu marido Giovani
e em especial a minha vó Darci.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho. Primeiramente ao meu marido Giovani, que no início do curso ainda era meu namorado, e, mesmo com o nosso casamento, o momento mais importante de nossas vidas, teve muita paciência e me deu muito suporte para sempre prosseguir.

Da mesma forma agradeço aos meus pais e família pelo apoio. Aos meus pais pela ajuda e incentivo desde sempre, incondicionalmente. Sem eles, não estaria onde estou. Com relação à família gostaria de agradecer a todos, mas principalmente às minhas tias Wanda e Vanda, que inúmeras vezes me ajudaram com incentivo e correções de português e de lógica de raciocínio. Nunca vou esquecer aquele dia quando a tia Wanda ligou falando sobre a inscrição no programa, e coincidentemente era a última semana. Devo agradecer imensamente também a minha vó Darci, que infelizmente faleceu neste ano de 2016. Sempre vou lembrar os seus ensinamentos e palavras, dizia: "tudo vai dar certo em seu tempo. O que é do homem, o bicho não come", me estimulando sempre a buscar pacientemente o alcance dos meus objetivos.

Agradeço também ao programa de pós graduação em Design (PPGDesign) da UFPR e todos os seus professores pelos ensinamentos e receptividade. E, em especial, ao professor Alexandre Pelegriani, da UTFPR, pela orientação, pela paciência e cobrança ao longo dos anos e pela compreensão com os diversos acontecimentos.

Ao GBC Brasil, à Fundação Vanzolini e ao *Asknature* pela disponibilização dos dados de maneira prática e acessível.

E não posso esquecer dos amigos, os colegas de mestrado e os diversos amigos que me incentivaram durante todo o processo.

Agradeço também aos profissionais participantes das entrevistas, que, por motivo de sigilo, não foram divulgados seus nomes, mas que contribuíram de maneira fundamental aos resultados alcançados.

RESUMO

O tema da sustentabilidade está em alta nas discussões acadêmicas e sociais e é de extrema importância para a sobrevivência humana. Dentro deste vasto assunto, a eficiência energética é um dos tópicos de grande interesse, principalmente devido ao alto custo atual da energia, à escassez de recursos naturais e às alterações climáticas mundiais. O conforto térmico nas edificações é, em grande parte, proporcionado através do uso da energia. A ciência de biomimética, imitação dos princípios naturais nos problemas humanos, aparece como uma opção para o desenvolvimento de produtos voltados à sustentabilidade. Contudo, atualmente a biomimetização é realizada de maneira espontânea. Por conseguinte, o objetivo deste trabalho foi desenvolver uma ferramenta para o design de produtos visando a sustentabilidade, por meio da aplicação da biomimética, proporcionando uma melhor eficiência energética e com conforto ambiental interior. Para tanto, a metodologia utilizada foi o estudo do conforto térmico e da eficiência energética no ambiente construído; dos requisitos técnicos de energia e conforto térmico dos sistemas de certificação ambiental para edificações; do processo de desenvolvimento de produtos no design; da ciência da biomimética, suas aplicações e metodologias para o desenvolvimento de produtos; e de exemplos dos diversos princípios naturais termorreguladores. Na análise sintética dos diversos temas, foi possível estabelecer a formatação base da ferramenta que relaciona as soluções biológicas aos créditos e requisitos técnicos dos sistemas de certificação ambiental e demonstrar o seu uso. Em seguida estes resultados iniciais passaram por uma pesquisa de campo onde foram sugeridas algumas alterações para posterior conclusão da Ferramenta de Solução Biomimética (FSB) que norteia e inspira o projeto de produtos biomiméticos e termorreguladores, que resultem em funções voltadas à sustentabilidade e que promovam a eficiência energética e o conforto ambiental. Esta ferramenta proposta inicia o processo de sistematização na biomimetização de soluções naturais para produtos de design no ambiente construído.

Palavras chave: eficiência energética. conforto térmico. certificação ambiental para edificação. termorregulação. biomimetismo. design de produto.

ABSTRACT

The subject of sustainability is booming in academic and social discussions and is extremely important for human survival. Within this vast subject, energy efficiency is a topic of great interest, mainly due to the current high cost of energy, the scarcity of natural resources and global climate change. The thermal comfort in buildings is largely provided by the use of energy. The science of biomimicry, imitating the natural principles in human affairs, appears as an option for the development of products focused on sustainability. However, biomimicry is currently performed spontaneously. Therefore, the objective of this study is to develop a tool for product design assuring sustainability through the application of biomimicry, providing better energy efficiency and indoor environmental comfort. For such purpose, the methodology used was the study of thermal comfort and energy efficiency in the built environment; the technical requirements of energy and thermal comfort of the environmental certification systems for buildings; the product development process in the design; the science of biomimicry, its applications and methodologies for product development; and examples of the various natural thermoregulatory principles. In a summary analysis of various topics, it was possible to establish the basic formatting tool that relates the biological solutions to credits and technical requirements of the environmental certification systems and demonstrate its use. Subsequently, these initial results went through a field research, where it has been suggested some changes for later completion of the Biomimicry Solution Tool (FSB) that guides and inspires the design of biomimetic and thermoregulatory products, resulting in its use focused on sustainability and promoting energy efficiency and environmental comfort. This tool that is proposed is the start of the systematization process in natural solutions of biomimicry for product design in the built environment.

Keywords: energy efficiency, thermal comfort, environmental certification for construction, thermoregulation, biomimicry, product design

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 - Evolução do crescimento populacional e da demanda de energia per capita no Brasil.....	14
Figura 02 - Contextualização da pesquisa	15
Figura 03 - Contextualização da pesquisa	16
Figura 04 - Representação Gráfica Sintética (RGS) de todas as etapas da pesquisa	21
Figura 05 - Exemplo de edificação voltada à sustentabilidade	28
Figura 06 - Carta psicométrica, com zona de conforto - relação entre temperatura e umidade	31
Figura 07 - Carta bioclimática, com as diversas áreas de conforto	32
Figura 08 - Classificação conforme avaliação de desempenho térmico para verão .	36
Figura 09 - Classificação conforme avaliação de desempenho térmico para inverno	36
Gráfico 01 - Comparativo entre as pontuações possíveis nas categorias do LEED-CS versão 2009	45
Figura 10 - Critérios analisados dentro da categoria Energia e Atmosfera no sistema LEED - CS versão 2009	46
Figura 11 - Critérios analisados dentro da categoria Qualidade Ambiental Interna no sistema LEED - CS versão 2009	49
Figura 12 - Categorias de avaliação do AQUA-HQE divididas nos quatro temas	53
Figura 13 - Perfil mínimo para sistema de certificação AQUA	54
Figura 14 - Processo de desenvolvimento de produto	59
Figura 15 - Processo de desenvolvimento de produto	60
Figura 16 - Funil de decisões	61
Figura 17 - Estrutura do Palácio de Cristal inspirada na folha da nenúfar	63
Figura 18 - Casa inspirada na concha do mar, projetada por Senosian Arquitetos ..	64
Figura 19 - Edifício em formato de célula para o <i>Institute for Nanobiomedical Technology and Membrane Biology</i>	64
Figura 20 - Peixe cofre e carro Mercedes	66
Figura 21 - Piso Entropy, imitando os padrões aleatórios no chão da floresta	66
Figura 22 - Maneiras de aplicação da biomimeização	67
Figura 23 - Metodologia da biomimética segundo Faludi (2005)	68

Figura 24 - O método Biocard - BID Method	68
Figura 25 - Adaptação da metodologia proposta pelo NdSM (Núcleo de Design e Seleção de Materiais) da UFRGS para o desenvolvimento de produtos baseados em estudos de biônica	69
Figura 26 - Urso polar	72
Figura 27 - Ovelha Merino	72
Figura 28 - Morcego e seu sistema circulatório	73
Figura 29 - Pinguim Imperador	74
Figura 30 - Árvore <i>Aloe Dichotoma</i>	74
Figura 31 - Gazela-de-thomson	75
Figura 32 - Estrela-do-mar <i>Pisaster ochraceus</i>	75
Figura 33 - Cacto mesclal <i>Lophophora williamsii</i>	76
Figura 34 - Cacto	76
Figura 35 - Hipopótamo	77
Figura 36 - Cão-da-pradaria	77
Figura 37 - Edificação inspirada no cupinzeiro	79
Figura 38 - <i>Council House II Building</i>	79
Figura 39 - <i>Pearl River Tower</i>	81
Figura 40 – Classificação da pesquisa baseada em Prodanov e Freitas (2013).....	83
Figura 41 - Etapas da pesquisa	84
Figura 42 - Organização da Etapa 01 da pesquisa	86
Figura 43 - Organização da Etapa 02 da pesquisa	86
Figura 44 - Organização da Etapa 03 da pesquisa	87
Figura 45 - Etapas para demonstrar o uso da ferramenta.....	94
Figura 46 - PDP biomimético para regulação térmica, adaptado do método <i>Biocard</i> , com inserção da análise da ferramenta resultado	96

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 01 - Estrutura da dissertação	23
Quadro 02 - Absortividade dos materiais, relacionado às cores	39
Quadro 03 - Condutividade de alguns materiais de construção	40
Quadro 04 - Emissividade de alguns materiais de construção	40
Quadro 05 - Resistência superficial de acordo com a direção do fluxo	40
Quadro 06 - Comparação entre materiais isolantes e tijolo	43
Quadro 07 - Critérios técnicos de Gestão de Energia e Conforto Higrotérmico do sistema AQUA-HQE para Edifícios Residenciais	54
Quadro 08 - Níveis das principais características mimetizáveis	70
Quadro 09 - Estrutura da Revisão de Literatura	89
Quadro 10 - Formatação base da FSB	93
Quadro 11 - Quadro analisado pelo autor dos créditos de Energia do sistema de certificação LEED-CS	98
Quadro 12 - Quadro analisado pelo autor dos créditos de Energia do sistema de certificação AQUA-HQE	98
Quadro 13 - Quadro analisado pelo autor dos créditos de Qualidade Ambiental Interna do sistema de certificação LEED-CS	99
Quadro 14 - Quadro analisado pelo autor dos créditos de Conforto Higrotérmico do sistema de certificação AQUA-HQE	99
Quadro 15 - Créditos de Energia e Conforto térmico dos sistemas de certificação ambiental LEED-CS e AQUA-HQE que serão utilizados na ferramenta	100
Quadro 16 - Análise do autor para as estratégias de termorregulação do Asknature, seus princípios e aspectos do nível de biomimetismo segundo El-Zeiny (2012)	101
Quadro 17 - Seleção de algumas estratégias de termorregulação do Asknature, seus princípios, propriedades físicas e aplicações existentes ou sugestões de aplicações para o ambiente construído	104
Quadro 18 - Exemplo de uso da Ferramenta FSB	108
Quadro 19 - Exemplo Ferramenta FSB atualizada	113
Quadro 20 - Ferramenta FSB	114

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AQUA-HQE - Alta Qualidade Ambiental
BID - *Biologically Inspired Design* - Design inspirado biologicamente
BP - Boas Práticas
EUA - Estados Unidos da América
FSB - Ferramenta de Solução Biomimética
GBC - *Green Building Council*
HQE - *Haute Qualité Environnementale*
HVAC - *Heating, Ventilating and Air Conditioning*
LEED - *Leadership in Energy and Environmental Design*
LEED-CS - *Leadership in Energy and Environmental Design - Core & Shell*
MP - Melhores Práticas
NBR - Norma Técnica Brasileira
NC - Não Conforme
NdSM - Núcleo de Design e Seleção de Materiais
PDP - Processo de Desenvolvimento de Produto
P&D - Pesquisa e Desenvolvimento
PR - Pré-requisito
RGS - Representação Gráfica Sintética
RBS - Revisão Bibliográfica Sistemática
TM - *Trademark*
UFRGS - Universidade Federal do Rio Grande do Sul
USGBC - *United States Green Building Council*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	14
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	17
1.3 OBJETIVOS.....	17
1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO.....	18
1.5 JUSTIFICATIVA.....	19
1.6 VISÃO GERAL DO MÉTODO DE PESQUISA.....	21
1.7 RESULTADOS ESPERADOS	22
1.8 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
2.1 AMBIENTE CONSTRUÍDO SUSTENTÁVEL	24
2.1.1 Conforto ambiental	29
2.1.1.1 Conforto térmico no ambiente construído	30
2.1.2 Eficiência energética no ambiente construído.....	33
2.1.3 A envoltória e seu desempenho térmico	35
2.1.3.1 Cálculo das trocas térmicas	39
2.1.3.2 Materiais isolantes térmicos	42
2.1.4 Sistemas de certificação ambiental para edificações.....	43
2.1.4.1 Leed-cs	44
2.1.4.2 Aqua-hqe	52
2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO (PDP)	58
2.3 BIOMIMÉTICA DIRECIONADA AO AMBIENTE CONSTRUÍDO.....	62
2.3.1 Biomimetismo x Inspiração na natureza.....	63
2.3.2 Biomimetismo no design de produtos	65
2.3.3 Método de desenvolvimento de produtos biomiméticos	67
2.3.4 Princípios naturais termorreguladores do <i>Asknature</i>	71
2.3.4.1 Coleção "mantendo-se quente no frio"	72
2.3.4.2 Coleção "esfriando no calor"	74
2.3.5 Alguns exemplos biomiméticos aplicados no ambiente construído para termorregulação	78
2.4 OPORTUNIDADE DA PESQUISA	81
3 METODOLOGIA.....	83
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	83
3.2 ETAPAS DA PESQUISA	84
3.2.1 Etapa: revisão bibliográfica e documental.....	85
3.2.2 Etapa: procedimento analítico-sintético - formatação da estrutura da ferramenta	86

3.2.3 Etapa: pesquisa de campo - versão final da ferramenta	87
3.3 COLETA DE DADOS.....	87
4. PROPOSTA DA FERRAMENTA DE PROJETO DE PRODUTO BIOMIMÉTICO	91
4.1 FORMATAÇÃO BASE DA FERRAMENTA.....	93
4.2 DEMONSTRAÇÃO DE USO DA FERRAMENTA	93
4.2.1 Preenchimento das linhas e colunas da ferramenta	97
4.2.1.1 Requisitos de energia e conforto térmico LEED-CS x AQUA-HQE	97
4.2.1.2 Soluções biológicas termorreguladoras do Asknature x princípios naturais x propriedades físicas.....	101
4.2.2 Exemplo da ferramenta aplicada para produto com bom comportamento térmico para fachadas	105
4.3 ANÁLISE POR PROFISSIONAIS.....	110
4.4 FERRAMENTA FSB.....	112
5. CONCLUSÃO E DISCUSSÃO	116
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	118
REFERÊNCIAS	120
ANEXO A.....	126

1 INTRODUÇÃO

O mundo está passando por diversas consequências dos impactos ambientais produzidos pelo homem ao longo de sua história. Juntamente ao aquecimento global, percebe-se um aumento na ocorrência de eventos climáticos extremos, como: enchentes, tempestades, furacões, ondas de calor ou de frio intensas, secas ou desertificação em determinadas regiões. Portanto, os impactos sobre a natureza estão aparentemente muito além do que poderiam ser absorvidos (IPAM, 2015).

Devido a este cenário, o presente trabalho trata a sustentabilidade como uma urgência; uma necessidade de design de novas tecnologias, sistemas e produtos que promovam um ambiente construído mais sustentável, tanto no seu sentido ecológico, ambiental, quanto no social e econômico.

Um dos enfoques da sustentabilidade é a eficiência energética, que por definição consiste na relação entre a quantidade de energia empregada em uma atividade e aquela disponibilizada para sua realização. Otimizando o uso da energia, o homem está, além de protegendo os recursos naturais, auxiliando os governos a não precisarem desenvolver novas usinas, que causam impactos desastrosos em suas construções (ELETROBRAS, 2015).

Nos edifícios residenciais brasileiros, segundo Silva (2012), mais da metade da energia utilizada é para aquecimento ou refrigeração. Portanto, toda esta energia direciona-se para manutenção da qualidade do ar interno no quesito conforto térmico dos usuários. Sendo assim, para o cálculo energético de um empreendimento, deve-se levar em conta não apenas o menor uso da energia, e sim, somado a ele, a sensação de conforto térmico interior (SILVA, 2012; LIMA, 2005).

Os sistemas de certificação ambiental para as edificações, que surgem na década de 1980 segundo o *United States Green Building Council* (USGBC), com o objetivo de tornar os empreendimentos urbanos mais sustentáveis e padronizar a classificação de uma construção entre os diversos países; são sistemas que possibilitam a averiguação e pontuação da eficiência energética e índices de conforto ambiental de uma edificação (USGBC, 2015).

Portanto, para análise deste estudo, com o foco no design de produtos para o ambiente construído voltados à eficiência energética e ao conforto térmico,

trabalhou-se com os requisitos técnicos relacionados de dois dos principais sistemas de certificação ambiental para edificações aplicados no Brasil, o sistema LEED¹ e o AQUA-HQE². Utilizou-se os sistemas de certificação como norteadores do processo por apresentarem, como missão, condições mínimas a serem atingidas por uma edificação para que esta seja considerada sustentável (GBC Brasil, 2015; VANZOLINI, 2015).

A imitação dos princípios naturais, ciência denominada Biomimética, palavra originada do grego *bios* (vida) e *mimesis* (imitação), aparece como uma opção para desenvolvimento de produtos com vistas à sustentabilidade, uma vez que a natureza, com sua evolução durante bilhões de anos para organismos adaptados, responde de maneira completa e natural aos preceitos de eficiência e qualidade (BENYUS, 2009).

Assim sendo, na busca do design de produtos mais eficientes e com maior qualidade para o ambiente construído, viu-se a oportunidade de se trabalhar de forma original com a sustentabilidade, em especial com a eficiência energética e o conforto térmico, somada aos requisitos relacionados dos sistemas de certificação ambiental e à ciência da Biomimética para o desenvolvimento de produtos.

Entretanto, segundo Vandevenne et al.. (2011), a biomimetização em soluções humanas de design é atualmente, na maioria das vezes, feita de forma espontânea e ainda não existe uma ferramenta ideal para sistematização, que levaria à agilização, deste processo. Tem-se o problema de design, mas não aonde recolher informações para a biomimetização de forma sistemática, mais rápida e precisa, da solução natural. (VANDEVENNE et al, 2011).

Por conseguinte, o principal objetivo deste trabalho foi desenvolver esta ferramenta, que, utilizada e classificada por uma equipe multidisciplinar, reúna diversas soluções biológicas e facilite a identificação das soluções candidatas à biomimetização na resolução de problemas humanos. Isto traz inspiração e demonstra caminhos que podem ser seguidos na biomimetização de estratégias naturais, estimulando a produção de novas ideias de design. Desta forma, tem-se inovação para desenvolvimento de produtos para um ambiente construído mais eficiente energeticamente e com conforto térmico para o ambiente interior.

¹ LEED TM- *Leadership in Energy and Environmental Design trademark* (marca registrada) desenvolvida pelo USGBC

² AQUA-HQETM - *Alta Qualidade Ambiental trademark* (marca registrada) desenvolvida pela Fundação Vanzolini

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

O grande aumento da população somado ao crescente consumo *per capita* de energia, ao alto dispêndio energético efetuado pelas edificações e ao cenário de escassez de recursos naturais, resultam na necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias, sistemas e produtos que promovam a eficiência energética no ambiente construído.

O progresso científico e econômico ocasionado principalmente pela Revolução Industrial acarretou uma explosão do número de habitantes no planeta. A população demorou milhares de anos para atingir, no ano 1800, os 900 milhões de pessoas. E depois, em apenas 200 anos, multiplicou este número por seis, atingindo seis bilhões de pessoas no ano 2000 (LIMA, 2005). Segundo o *Worldwatch Institute*, a Terra recebe em média 80 milhões de novos habitantes por ano. Isto pressiona os sistemas naturais e causa ainda mais impactos ambientais (WORLDWATCH, 2013).

Além disso, ao longo da história, o homem foi mudando sua maneira de viver, com a tecnologia e a cultura determinando novos padrões de produção e consumo. Por se pensar que os recursos naturais eram infinitos, utilizou-se a energia de modo quase indiscriminado, até que, segundo Corbella e Yannas (2003), em 1973 houve a primeira crise energética no Brasil.

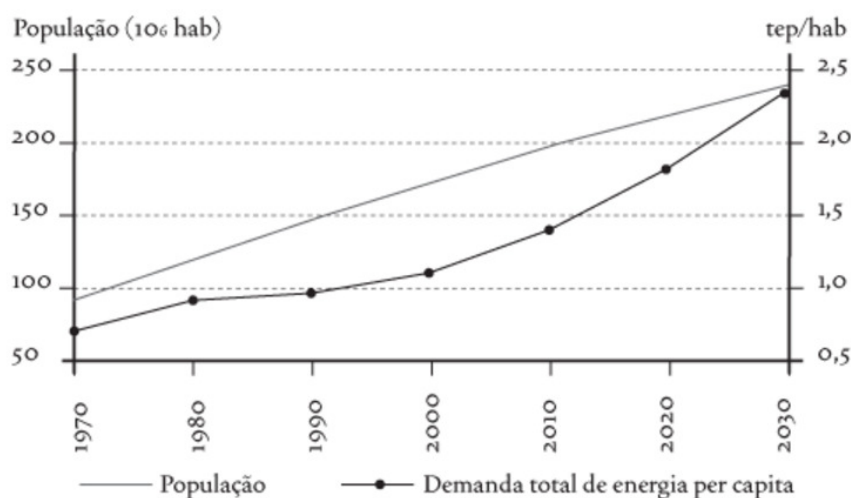


Figura 01 - Evolução do crescimento populacional e da demanda de energia per capita no Brasil

Fonte: Tolmasquim et al. (2007)

Como mostra a figura 01, desde a década de 1970 até a previsão para 2030, haverá um aumento de mais de três vezes a quantidade de energia demandada por habitante e a população aumentará em número absoluto duas vezes e meia (TOLMASQUIM et al., 2007). Ou seja, o consumo energético final para a população brasileira aumentará em mais de 600% (seiscentos por cento).

Piorando ainda mais o cenário, o ambiente construído depende da energia para sua construção e funcionamento, através da operação e manutenção dos sistemas artificiais das edificações, como iluminação, climatização e aquecimento de água, consumindo quase 50% dos insumos energéticos produzidos no Brasil (ELETROBRAS, 2015; LAMBERTS et al., 2004).

Então as perguntas que ficam são:

- até quando haverá recursos naturais suficientes para uma população que cresce tanto ao ano e consome cada vez mais energia?
- teria como a construção civil contribuir ainda mais com a eficiência energética mundial?

Assim, um dos principais desafios atuais para o ambiente construído é aumentar a eficiência energética durante e após as suas obras.

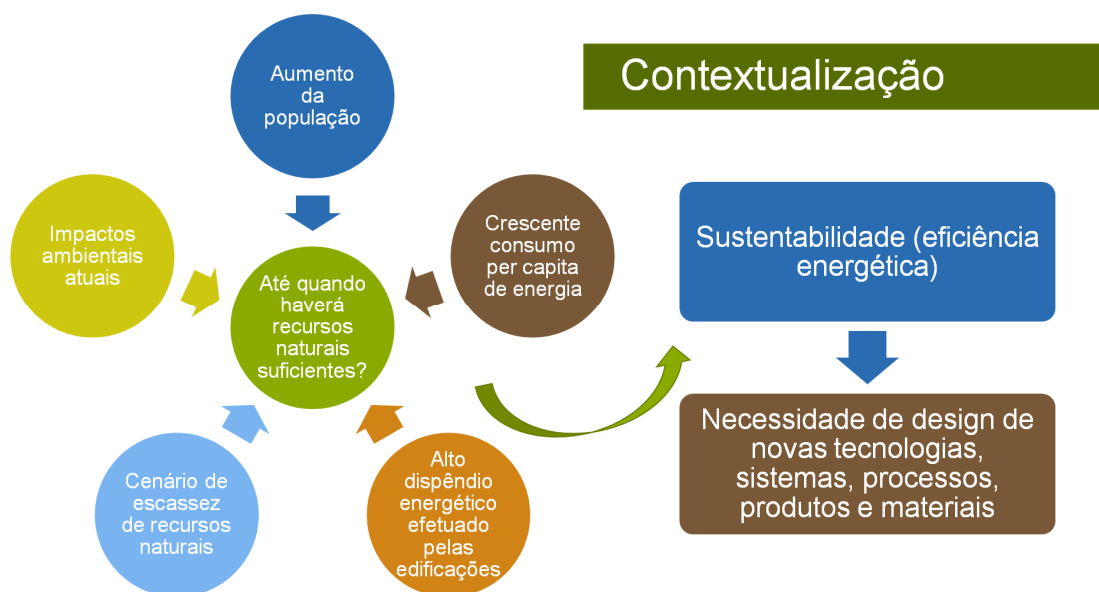


Figura 02 – Contextualização da pesquisa

Fonte: autor

Após a análise da figura 02, percebe-se a necessidade de design de mais e melhores produtos, materiais, processos e tecnologias que promovam a eficiência energética. Contudo, parece antagônico consumir menos energia e manter o conforto térmico no ambiente interior. Então, a pergunta principal é:

- Como melhorar a climatização interna das edificações, acarretando o conforto térmico, com menos impactos ambientais e mais eficiência energética?

Uma parte da solução encontrada é na ciência da biomimética, que apresenta uma troca de paradigma - não mais extrair da natureza, e sim aprender com ela. O biomimetismo aparece como uma opção para desenvolvimento de tecnologias, sistemas e produtos com vistas à sustentabilidade, uma vez que foca na adaptação dos princípios naturais à tecnologia humana (SOARES, 2008). Segundo Pawlyn, "Se pudéssemos aprender a fazer e realizar coisas da mesma maneira que a natureza faz, nós poderíamos realmente atingir melhoras radicais na eficiência dos recursos" (PAWLYN, 2014, livre tradução).

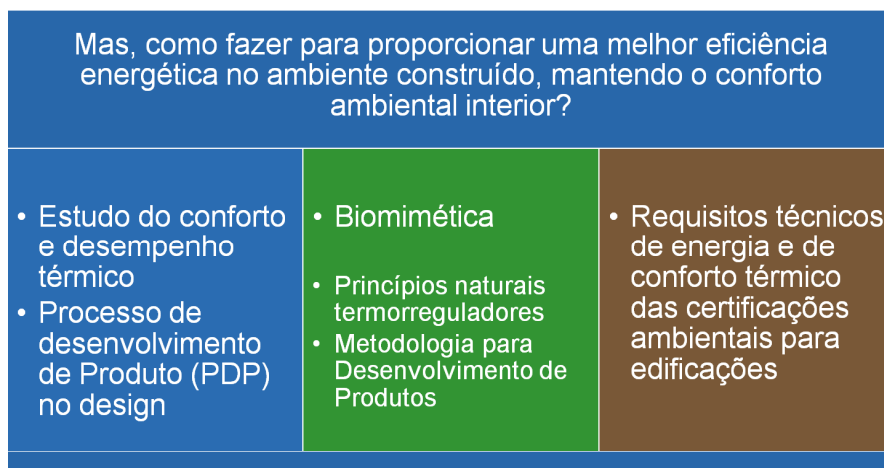


Figura 03 – Contextualização da pesquisa

Fonte: autor

Por conseguinte, conforme apresenta a figura 03, uma resposta à pergunta anterior está na inserção da ciência da biomimética ao processo de desenvolvimento de produtos, somada ao estudo de conforto e do bom comportamento térmico no ambiente construído e ainda norteadas pelos requisitos técnicos de energia e conforto térmico dos sistemas de certificação ambiental.

Para tanto, estuda-se quais são os princípios das soluções biológicas que atingem a termorregulação³. Neste trabalho, são listadas as estratégias do portal de pesquisas *Asknature*⁴. E, analisa-se, de forma original, estes princípios biológicos juntamente aos requisitos técnicos de energia e conforto térmico dos sistemas de certificação ambiental para construção civil LEED e AQUA-HQE.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Como auxiliar projetistas do ambiente construído de forma mais sistemática no design de novos produtos biomiméticos e eficientes energeticamente, utilizando como referência os princípios naturais termorreguladores e orientado pelos requisitos energéticos e de conforto térmico dos sistemas de certificação ambiental para edificações, LEED e AQUA-HQE?

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa foi iniciar o desenvolvimento de uma ferramenta de projeto, versão preliminar, relacionando os requisitos técnicos de energia e de conforto térmico, definidos pelos sistemas de certificação ambiental LEED e AQUA-HQE, aos princípios naturais de função termorreguladora, como exemplo os encontrados no portal de pesquisa *Asknature*, promovendo o norteamento no desenvolvimento de novos produtos de design biomiméticos, termorreguladores e sustentáveis. Esta ferramenta, futuramente, poderá sistematizar o processo de biomimetização. Contudo, já permite demonstrar alguns caminhos a serem seguidos e facilitar, pelos profissionais do ambiente construído, a identificação de estratégias naturais candidatas à biomimetização na resolução dos seus problemas de design.

³ manutenção da temperatura interna ideal pelo próprio organismo

⁴ www.asknature.org

Os objetivos específicos são, de certa forma, as etapas para se chegar ao propósito final, o alcance do objetivo geral (MARCONI; LAKATOS, 2003). Então, para os específicos, tem-se:

- a) Desenvolver a formatação base da ferramenta, que relaciona as soluções naturais termorreguladoras aos requisitos de energia e conforto térmico dos sistemas de certificação ambiental LEED e AQUA-HQE;
- b) Identificar e classificar os requisitos técnicos de energia e de conforto térmico dos sistemas de certificação ambiental mencionados;
- c) Identificar e classificar grupos de soluções funcionais encontradas na natureza com potencial para atender aos requisitos técnicos anteriores (estratégias de termorregulação no portal de pesquisa *Asknature*);
- d) Dentro do processo de desenvolvimento de produto, demonstrar o uso da ferramenta, relacionando as principais soluções naturais termorreguladoras do portal de pesquisas *Asknature* e os requisitos técnicos de energia e conforto térmico dos sistemas de certificação ambiental LEED e AQUA-HQE, para análise e comentários por profissionais das áreas;
- e) Apresentar versão preliminar da Ferramenta FSB (Ferramenta de Solução Biomimética).

1.4 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Devido à grande extensão dos temas relacionados, foram impostas algumas delimitações principais ao presente estudo:

- a) A certificação LEED possui vários desmembramentos e o mais relacionado ao assunto é o que permite a análise da envoltória da edificação (LEED-CS - *Core and Shell*), uma vez que o trabalho trata de fachadas, seu isolamento e conforto térmico;
- b) A certificação AQUA-HQE apresenta referenciais para avaliação da qualidade ambiental de edifícios residenciais e não residenciais. Para delimitação, trabalha-se com o referencial para edifícios residenciais.
- c) O estudo refere-se apenas aos requisitos relacionados ao assunto dentro das categorias de Energia e Conforto térmico dos sistemas de certificação LEED-CS e

AQUA-HQE. Para ambos os sistemas, foram utilizadas as versões em vigor nas datas de pesquisa para a fundamentação teórica;

d) Na natureza conhece-se 1,7 milhões de espécies, e chega-se a estimar que exista em torno de 30 milhões. Das conhecidas, afirma-se que poucas foram estudadas a fundo. Isto posto, uma vantagem da inspiração em processos naturais é a de que a fonte de dados pode crescer contínua e imensamente. O problema é que muitas vezes a terminologia utilizada no mundo biológico e no mundo da engenharia é totalmente diversa (VANDEVENNE, 2011; DELDIN; SCHUKNECHT, 2014). Então, para exemplificação do uso da ferramenta, trabalha-se apenas com as estratégias listadas no portal de pesquisas *Asknature*, uma vez que o mesmo possui uma linguagem adaptada ao ambiente construído, seu conteúdo é de livre acesso e a maioria das suas publicações é proveniente de periódicos revisados por pares; e, ainda dentro das coleções do portal, trabalha-se somente com as estratégias que se referem diretamente à termorregulação, ou seja: *cooling down in the heat* (esfriando no calor) e *staying warm in the cold* (se mantendo quente no frio) (ASKNATURE, 2015, livre tradução).

1.5 JUSTIFICATIVA

Um dos maiores desafios atuais do design é a concepção de cenários ou produtos que possam promover novas atitudes e maneiras de viver dentro de critérios de maior sustentabilidade. Segundo Manzini e Vezzoli (2002), uma das principais formas de concretização de um design voltado à sustentabilidade pode ser constituída pelo *redesign* do preexistente, desde que permita conciliar crescimento econômico com a preservação do meio ambiente, reduzindo o consumo de recursos e energia (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

Devido ao crescimento populacional atual, ao alto consumo de energia efetuada e à degradação ambiental percebida, vê-se a necessidade de *redesign* dos sistemas atuais ou desenvolvimento de novos sistemas, tecnologias, produtos ou materiais para a eficiência energética do ambiente construído. Assim, a execução deste trabalho é justificada, uma vez que a pesquisa apresenta, além das

relevâncias ambiental e econômica, a social e acadêmica (MANZINI; VEZZOLI, 2002).

A importância ambiental e social se dá por seu lado sustentável, uma vez que inicia o desenvolvimento de uma ferramenta para aplicação prática no auxílio de projetos que inter-relacionam o biomimetismo no desenvolvimento de novos produtos que conduzam à eficiência energética e ao conforto térmico interior das edificações, tendo os sistemas de certificação ambiental LEED-CS e AQUA-HQE como norteadores do processo. Sendo assim, espera-se que os resultados desta pesquisa contribuam para o desenvolvimento de soluções de design orientadas para a economia dos sistemas naturais (ambiental) e a economia financeira (importância econômica) das construções sustentáveis.

Sua relevância acadêmica é alcançada por possibilitar novos estudos e análises da ferramenta proposta; iniciar a sistematização do processo da biomimetização; servir como base para trabalhos futuros, como aprofundamento da ferramenta ou geração de novas versões; e ainda promover um maior desenvolvimento da área da biomimética focada no campo do design e da arquitetura no Brasil e no mundo.

1.6 VISÃO GERAL DO MÉTODO DE PESQUISA

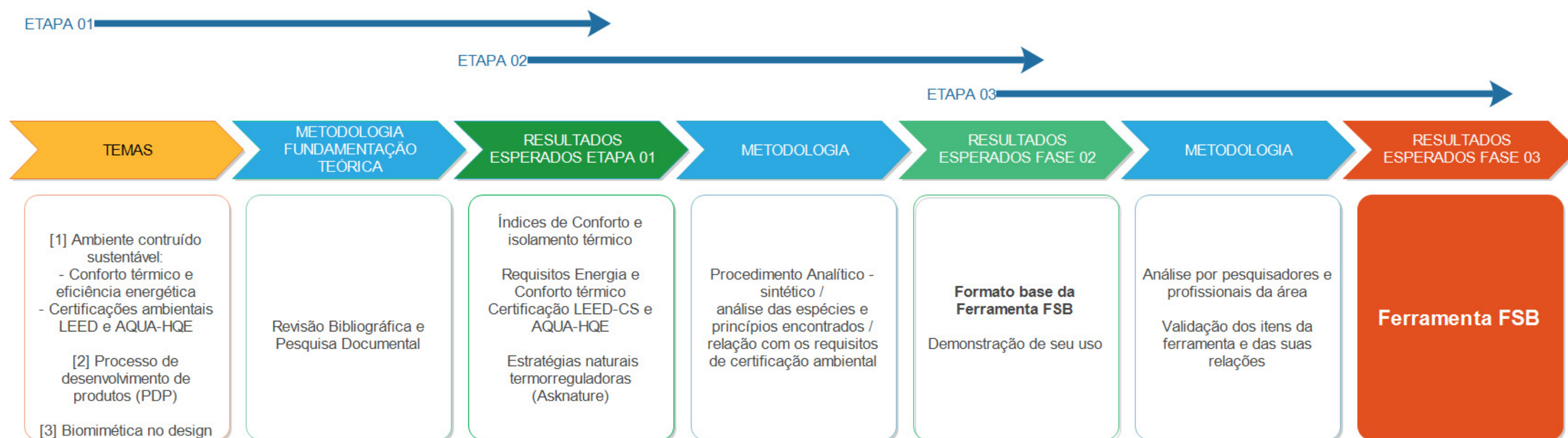


Figura 04 - Representação Gráfica Sintética (RGS) de todas as etapas da pesquisa

Fonte: autor

A figura 04 sintetiza todas as etapas e procedimentos efetuados nesta dissertação. No início, foi feito um estudo exploratório dos temas considerados necessários para se atingir os objetivos geral e específicos descritos anteriormente.

As fases foram executadas de modo que o resultado final alcançasse a versão preliminar de uma ferramenta para auxílio de projeto, que relaciona os princípios naturais termorreguladores aos requisitos técnicos de energia e conforto térmico dos sistemas de certificação ambiental para a construção civil LEED-CS e AQUA-HQE, impulsionando o projeto de produtos e sistemas de design para o ambiente construído biomiméticos, sustentáveis, eficientes energeticamente e que propiciem o conforto ambiental no interior das edificações.

Para tanto, na primeira etapa foram realizadas uma revisão bibliográfica e uma pesquisa documental sobre os assuntos principais; na segunda, uma análise-sintética dos frutos da primeira fase, possibilitando o desenvolvimento do formato base da ferramenta e um exemplo de demonstração de seu uso com a inserção das soluções termorreguladoras do portal de pesquisas *Asknature* e dos requisitos selecionados dos sistemas de certificação. Na terceira etapa, para validação do resultado obtido, dá-se a pesquisa de campo com a análise e as considerações feitas por profissionais das áreas envolvidas, onde chega-se ao resultado final, a Ferramenta de Solução Biomimética (FSB) orientada pelos requisitos de energia e conforto térmico das certificações ambientais LEED-CS e AQUA-HQE. Todos estes procedimentos são descritos no capítulo 3 que apresenta a Metodologia Científica desta dissertação.

1.7 RESULTADOS ESPERADOS

O presente trabalho pretende propor uma forma para nortear o design de produtos biomiméticos e sustentáveis, na promoção da eficiência energética e conforto térmico interior, para o ambiente construído. Isto, através da Ferramenta FSB, que relaciona as diversas soluções naturais termorreguladoras aos requisitos de energia e de conforto térmico dos sistemas de certificação ambiental para construção civil, LEED-CS e AQUA-HQE.

Este resultado deverá atingir o ambiente construído de maneira sustentável e contribuir para a eficiência energética e conforto térmico no ambiente interno de uma edificação.

1.8 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está dividida em cinco grandes capítulos, conforme quadro 01 descrito abaixo.

Quadro 01 - Estrutura da dissertação

Capítulo 1	Introdução	Contextualização + Problema + Objetivos + Delimitação do trabalho + Justificativa + Visão Geral do Método + Resultados Esperados
Capítulo 2	Fundamentação Teórica	Ambiente construído sustentável + Conforto térmico + Eficiência energética + Envoltória e seu desempenho térmico + Certificações ambientais + LEED + AQUA-HQE Processo de desenvolvimento de produtos Biomimética direcionada ao ambiente construído + Biomimetismo no design de produtos + Metodologias biomiméticas + Soluções naturais termorreguladoras do <i>Asknature</i> + Exemplos biomiméticos de soluções existentes Identificação da oportunidade de pesquisa
Capítulo 3	Metodologia	Caracterização da pesquisa + Etapas + Coleta de dados
Capítulo 4	Proposta da ferramenta	Formatação base da ferramenta + Demonstração de seu uso + Requisitos de energia e conforto térmico dos sistemas de certificação utilizados na ferramenta + Soluções termorreguladoras do <i>Asknature</i> + Exemplo aplicado + Análise por profissionais + Ferramenta FSB
Capítulo 5	Conclusão e Discussão	Conclusões + discussão e considerações + Sugestões para trabalhos futuros

Fonte: autor

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma pesquisa deve ser bem fundamentada para que apresente confiabilidade e aplicabilidade em estudos futuros (CONFORTO et al., 2011). Conforme dito anteriormente, alguns temas necessários foram estudados para este embasamento teórico, possibilitando o alcance do resultado esperado, a versão preliminar de uma ferramenta para nortear e inspirar o desenvolvimento de produtos biomiméticos, eficientes energeticamente e que promovam o conforto térmico.

O primeiro grande tema é o ambiente construído sustentável, explicando os principais conceitos e requisitos da sustentabilidade. Dentro deste, encontram-se as definições e índices ideais para conforto térmico no ambiente interior; conceitos e meios de promoção da eficiência energética no ambiente construído; definições e funcionamento das fachadas e seu desempenho térmico; e os requisitos, créditos e algumas explicações dos sistemas de certificação ambiental para a construção civil LEED-CS e AQUA-HQE.

Outro tema necessário é o estudo do processo de desenvolvimento de produtos dentro da área do design, identificando em qual momento se daria a análise da ferramenta para o desenvolvimento de um novo produto.

O último grande assunto é o biomimetismo aplicado ao ambiente construído, apresentando seus principais conceitos; e o biomimetismo direcionado ao design de produtos, com suas metodologias atuais. Apresentam-se ainda as principais soluções biológicas termorreguladoras do portal de pesquisas *Asknature* e alguns exemplos biomiméticos já aplicados na construção civil para termorregulação.

O estudo destes temas integrados, propiciou identificar a lacuna da pesquisa e o alcance dos objetivos descritos anteriormente.

2.1 AMBIENTE CONSTRUÍDO SUSTENTÁVEL

A construção civil é importante no cenário da sustentabilidade pois seu produto, a edificação, gera fortes consequências ao meio ambiente em todo o seu ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas para a construção, passando

pelo consumo energético para manutenção e conservação, até a disposição final de seus resíduos (HILGENBERG, 2010).

Para entendimento, a primeira definição necessária é o que significa sustentabilidade. Segundo Nerbas (2012) é a qualificação da vida de forma igualitária a todos no presente, sem comprometer a qualidade de vida das futuras gerações. E ainda, segundo Agopyan e John (2011), desenvolvimento sustentável é a busca de um equilíbrio entre proteção ambiental, justiça social e viabilidade econômica (AGOPYAN; JOHN, 2011).

Portanto, aplicar o conceito de desenvolvimento sustentável na construção civil é buscar formas de diminuir o impacto ambiental e de aumentar a justiça social dentro do orçamento disponível.

O alto desempenho de uma edificação está intimamente ligado à sua concepção, ao modo como é projetada e construída, tendo em vista os materiais e os sistemas construtivos empregados. Viabiliza-se naquela onde utilizou-se materiais ambientalmente corretos; reciclou-se os resíduos gerados; adotou-se princípios de conforto térmico e de iluminação, visando eficiência energética e um ambiente salubre; aproveitou-se a água de chuva; e ainda facilitou-se a manutenção e desmonte da mesma quando fosse o momento (SILVA, 2012).

As soluções voltadas para a sustentabilidade devem ser empregadas ainda na fase de planejamento dos empreendimentos, por meio da adequação climática da forma, da função e dos materiais utilizados. A sustentabilidade deve ser tratada como meio, e não como fim, ou seja, um processo de avanço contínuo e sempre presente em todas as fases de desenvolvimento de uma construção (NERBAS, 2012).

No design de produtos com foco na sustentabilidade, a variável ambiental também deve ser aplicada desde a sua concepção até o final do seu ciclo de vida. Soares (2008) afirma que os impactos ambientais de um produto ocorrem em todas estas fases, no entanto, a maioria é intrínseca às características do produto na fase de design, quando são tomadas as decisões mais críticas, em relação a custos, aparência, seleção de materiais, inovação, desempenho, longevidade, durabilidade e capacidade de reparação (SOARES, 2008).

A OECD (*Organisation for Economic Co-operation and Development*) afirma que uma construção sustentável deve promover:

- redução de emissões de gás carbônico (CO²);

- minimização de resíduos de construção e demolição;
- prevenção de poluição do ar interior, uma vez que as pessoas passam em média 90% do seu tempo dentro de ambientes.

(OECD, 2015)

Sattler et al. (2003) vão mais a fundo e colocam que uma edificação que vise a sustentabilidade, e busque responsabilidade de cunho social e ambiental, deve apresentar:

- implantação do edifício adequada à geomorfologia e respeito à paisagem local;
- mais interação entre o homem e a natureza;
- promoção da observação da paisagem local e utilização de espécies nativas no tratamento paisagístico sempre que possível;
- gestão dos resíduos sólidos (propiciando um local para separação e disposição do lixo, incluindo a possibilidade de executar uma composteira para adubo orgânico do jardim da edificação);
- gestão dos recursos hídricos: utilização da água da chuva, reaproveitamento de águas servidas (águas cinzas: pias e chuveiros) e tratamento das águas negras (vaso sanitário);
- gestão dos recursos energéticos: mecanismos de iluminação e ventilação eficientes, aplicar conceitos da arquitetura bioclimática (respeitar o clima local e o conforto ambiental dos usuários da edificação);
- controle do excesso de áreas impermeáveis para facilitar a absorção da água através do solo, contribuindo para a gestão da drenagem urbana e para a qualidade da água do lençol freático;
- utilização de conceitos do paisagismo produtivo para possibilitar o suprimento de uma parcela das necessidades alimentares dos usuários, assim como atrair a fauna local e promover a educação ambiental;
- áreas de lazer passivo e ativo para a comunidade;
- soluções para a acessibilidade universal, respeitando as necessidades dos diferentes usuários (idosos, mulheres grávidas, crianças e deficientes físicos);
- utilização de materiais com baixo impacto ambiental e nível de toxicidade;

- utilização de materiais locais para evitar perdas econômicas e ambientais no transporte;
 - respeito às características sociais, ambientais e culturais da comunidade local;
 - aumento da vida útil da edificação por meio do uso de materiais duráveis e de características arquitetônicas que respeitem a cultura local;
 - desenvolvimento de projetos flexíveis que possibilitem diferentes atividades;
 - preservação de áreas verdes e vegetação existente, promovendo o desenvolvimento da biodiversidade local;
 - geração de emprego no local, propiciando uma melhora da economia.
- (SATTLER et al., 2003)

Então, uma edificação que vise a sustentabilidade, exemplificada pela figura 05, prevê eficiência na utilização dos recursos naturais, incluindo a energética e a racionalização no uso da água e seu reuso; redução de emissões de gases que ocasionam o efeito estufa; minimização de resíduos; adequação à paisagem, vegetação, materiais e cultura locais; prevenção da poluição, desde a qualidade do ar interno até o isolamento acústico, promovendo assim o conforto ambiental de seus usuários; promoção da acessibilidade universal; facilidade de manutenção e durabilidade; e harmonização com o ambiente através de abordagens integradas e sistêmicas entre seus elementos (OECD, 2015; SATTLER et al., 2003).

Dependendo do clima do local do projeto, podem ser aplicadas e executadas várias estratégias que promovam o isolamento térmico, como a utilização de materiais ou tecnologias para isolamento nas janelas, paredes, forro e piso, como no exemplo da 05.



Legenda

- 1- Alta eficiência: janelas com isolamento para redução do consumo de energia;
- 2 e 2a- Paisagismo com plantas nativas: requer menos irrigação;
- 3- Conservação de água: descarga com fluxo duplo, torneiras econômicas e sensores para irrigação;
- 4- Sistemas mecânicos de alta eficiência: considerar sistemas geotérmicos;
- 5- Equipamentos energeticamente eficientes;
- 6- Isolamento do piso;
- 7- Isolamento da fundação;
- 8 e 9- Uso de materiais reciclados e ferro;
- 10- Isolamento térmico de paredes e forros;
- 11- Outras considerações: materiais com baixa emissão de compostos voláteis, paredes verdes, luzes eficientes;
- 12- Exposição ao sol: considerar a exposição ao sol para se proteger dos raios UV.

Figura 05 - Exemplo de edificação sustentável

Fonte: Nascimento e Maciel (2010, apud SILVA, 2012)

Entretanto, Silva (2012) e USGBC (2015) colocam que as construções sustentáveis tendem a apresentar custos de construção superiores às convencionais. Mas, por todas as vantagens apresentadas, estes custos são recuperados ao longo do tempo, devido ao aumento da vida útil da edificação e à redução nos custos de operação e manutenção, como consumo de água (de 30% e 50%) e de energia (aproximadamente 30%) (SILVA, 2012; USGBC, 2015).

2.1.1 CONFORTO AMBIENTAL

Estima-se que as pessoas passem de 80 a 90% de suas vidas no interior das edificações (OECD, 2015). Portanto, um dos principais objetivos dos projetistas de uma edificação é proporcionar conforto e qualidade de vida à estas pessoas. (GRAF, 2011).

O conforto ambiental é uma área de estudo do ambiente construído que envolve o calor (temperatura), a iluminação, a acústica e a qualidade do ar no ambiente interior. Contudo, segundo Schmid (2005), ele não pode ser apenas traduzido em suas formas físico-fisiológicas, mensuráveis ou previsíveis. Pretende também satisfazer o emocional das pessoas.

"O desempenho da casa enquanto abrigo é restrito à soma de algumas funções-objetivo: temperatura, umidade, nível de intensidade sonora. Enfim, aquilo que é possível medir: como se a satisfação humana fosse cabível em algum modelo numérico. Já se tem conseguido, em diversos países do mundo, máquinas eficientíssimas. É por um lado um avanço; por outro, não existe garantia de uma contrapartida na compreensão do fenômeno do conforto. Faz falta o entendimento do abrigo como reduto do descanso, do devaneio" (SCHMID, 2005, p. 14).

Para demonstrar a importância do conforto para o homem, pode-se analisar a pirâmide de Maslow, desenvolvida pelo psicólogo e pesquisador comportamental Abraham Maslow (1971, apud LIMA, 2005), que explica como se comporta o homem em relação às suas necessidades. Na base aparecem as fisiológicas, onde se situa também a satisfação do conforto. Sem a base, o homem nem sequer se motiva a buscar o suprimento das outras necessidades, que seriam segurança, relações sociais, de autoestima e autorrealização (LIMA, 2005).

Para efeito desta pesquisa, a área necessária de entendimento dentro do conforto ambiental, é o conforto térmico e esta sensação no ambiente interior.

2.1.1.1 CONFORTO TÉRMICO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Conforto térmico é o reflexo de satisfação da pessoa com o ambiente que a envolve, de acordo com Lamberts et al. (2004). Desconsiderar este conforto na etapa de planejamento e projetos é não respeitar as necessidades dos usuários das edificações, ocasionando futuros gastos excessivos com condicionamento artificial do ar, além de ser uma forma de desperdício (NERBAS, 2012). Ao tornar o projeto de uma edificação mais confortável termicamente, o custo de utilização e manutenção pode ser reduzido (FROTA; SCHIFFER, 2003).

"Um desempenho térmico satisfatório da arquitetura, com a utilização apenas de recursos naturais, pode não ser possível em condições climáticas muito rígidas. Mesmo nesses casos devem-se procurar propostas que maximizem o desempenho térmico natural, pois, assim, pode-se reduzir a potência necessária dos equipamentos de refrigeração ou aquecimento, visto que a quantidade de calor a ser retirada ou fornecida ao ambiente resultará menor" (FROTA; SCHIFFER, 2003, p. 66).

Porém, o conforto térmico é sentido de diferentes maneiras pelas diversas pessoas, nas diversas estações do ano e ainda nas diversas regiões do mundo (GRAF, 2011; FROTA; SCHIFFER, 2003). Além de temperatura, umidade, radiação infravermelha (dos elementos da construção vizinhos à pessoa), movimento do ar, e radiação solar, ele se altera dependendo de qual o tipo de atividade a pessoa está realizando, seu vestuário, sua idade, sexo, diferença de peso e de metabolismo (CORBELLA; YANNAS, 2003).

A sensação de conforto é básica e inicialmente definida por duas variáveis, a temperatura e umidade, conforme a carta psicrométrica a seguir para pessoas vestindo pouca roupa, sem praticar nenhuma atividade e com movimento do ar menor de que 0,1m/s, conforme ilustra a figura 06 (CORBELLA; YANNAS, 2003).

Carta Psicrométrica

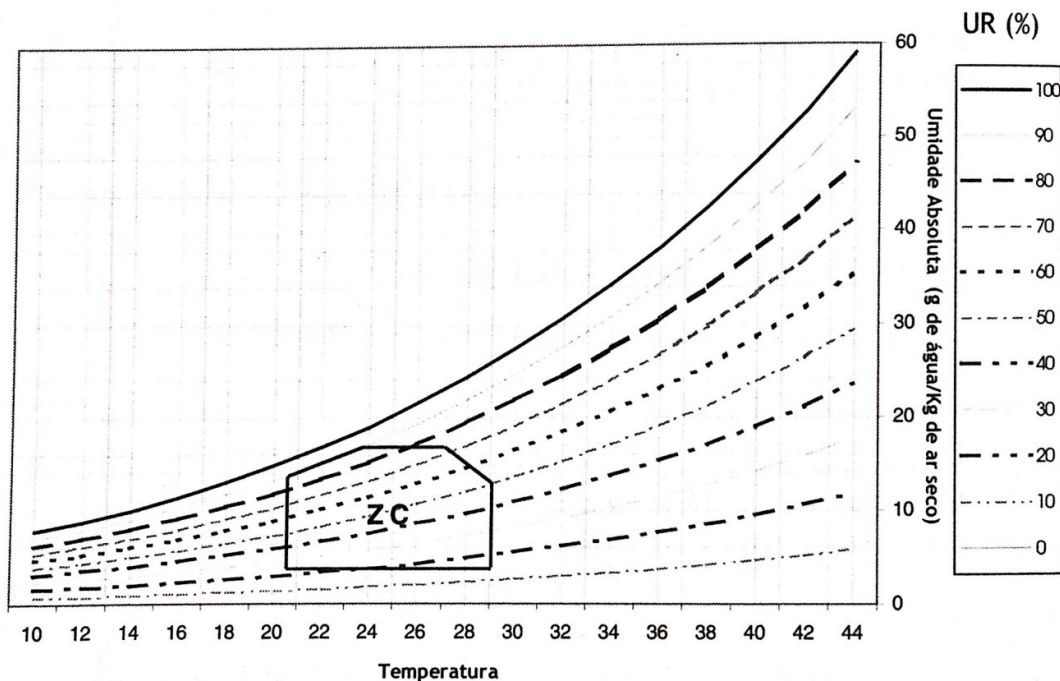


Figura 06 - Carta psicrométrica, com zona de conforto - relação entre temperatura e umidade

Fonte: CORBELLA, YANNAS (2003)

Na análise da figura 06, a zona de conforto representa estados de temperatura e umidade nos quais a maioria das pessoas se sente bem. Portanto, com roupa leve, sem prática de atividade e com movimento de ar menor de 0,1m/s, as pessoas podem se sentir naturalmente confortáveis desde 20°C a 29°C, e com umidade absoluta variando aproximadamente entre 20 e 80%.

Entretanto, com a aplicação de algumas estratégias no projeto arquitetônico, consegue-se ainda mais áreas de conforto, conforme ilustra a carta bioclimática demonstrada na figura 07 (CORBELLA; YANNAS, 2003).

Carta Bioclimática

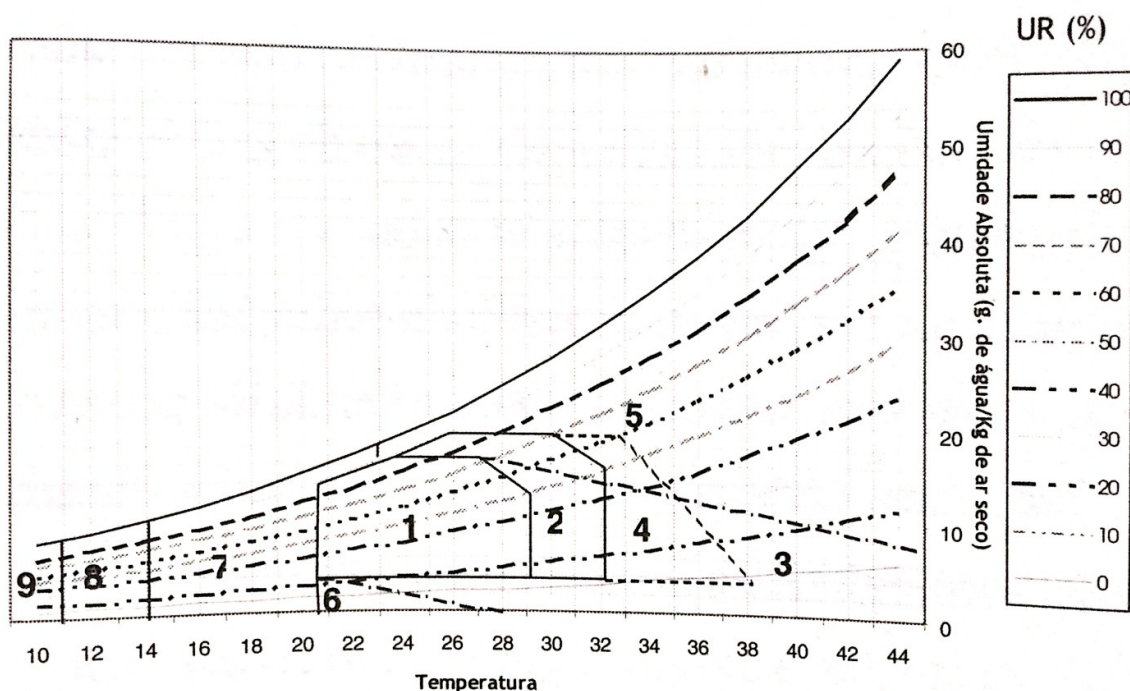


Figura 07 - Carta bioclimática, com as diversas áreas de conforto

Fonte: CORBELLA, YANNAS (2003)

Na carta da figura 07, aparecem outras áreas, além da descrita anteriormente, onde também se percebe a sensação de conforto, sugerindo assim algumas estratégias que podem ser utilizadas no projeto arquitetônico a fim de se obter o conforto térmico nas edificações. Percebe-se a área de conforto inicial, a de nº1; uma ampliação desta, definida pelo nº2, através da ventilação cruzada dentro do ambiente ocupado; a ampliação nº3, aumentando a umidade relativa; a nº4 é conseguida aumentando-se a inércia pela escolha de materiais de construção, sua disposição e tratamento das superfícies; a área de nº7, consegue-se propiciando ganhos de energia solar e aumento da inércia térmica.

Nas demais áreas, nº5, 6, 8 e 9 só se consegue conforto através dos sistemas artificiais e utilização de energia. Na área nº5, com a utilização do ar condicionado; na extensão de nº6, o ambiente precisa ser umidificado; na região nº8, além de se fazer o necessário na área 7, é necessário fornecer alguma calefação; e na 9a. se resolve somente com calefação (CORBELLA; YANNAS, 2003).

A análise desta última carta demonstra que são poucos os casos onde se precisa necessariamente de sistemas de ar condicionado e calefação para atingir o

conforto térmico, e que se a maioria dos edifícios fossem bem pensados e projetados, estariam proporcionando conforto, naturalmente, aos seus ocupantes (GRAF, 2011).

Ainda, segundo as normas brasileiras de instalações de ar condicionado e ergonomia, adotam-se os seguintes índices numéricos para a sensação de conforto:

- NBR 16401 - instalações de ar condicionado - no verão valor entre 22,5°C e 25,5°C e umidade relativa do ar 65%; ou entre 23°C e 26°C e umidade relativa 35% . No inverno valor entre 21°C e 23,5°C e umidade relativa do ar 60%, ou entre 21,5°C e 24°C e umidade relativa 30% (ABNT, 2008);
- NR 17 - Ergonomia - valor entre 20°C a 23°C e umidade relativa do ar mínima 40% (MTPS, 2007).

Uma conclusão feita na visualização das cartas e dos índices das normas é que é possível atingir o conforto térmico de diversas maneiras, e são apresentadas faixas muito extensas de temperatura e umidade para se conseguir fazer um estudo e análise de dados com números exatos (GRAF, 2011). Portanto, não serão tratados números precisos nesta pesquisa.

2.1.2 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Na década de 1940, após a II Guerra Mundial, houve uma expansão das técnicas construtivas e uma abundância de combustível barato, portanto durante um certo período de tempo utilizou-se a energia sem preocupações (NERBAS, 2012). Em vista disto, de que seu custo chegava a ser irrisório, e de que ainda não existia uma consciência generalizada sobre a poluição criada pela sua geração e consumo, várias construções praticavam um alto gasto energético (CORBELLÁ; YANNAS, 2003).

A reação ocorreu com a primeira crise energética, em 1973, com o grande aumento do preço do petróleo. Neste mesmo momento iniciavam-se as preocupações com a sustentabilidade mundial, e dava-se os primeiros passos em direção à chamada "Arquitetura Bioclimática" ou "Arquitetura Sustentável":

"Uma arquitetura que quer criar prédios objetivando o aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrado com as características da vida e do clima locais, consumindo menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído para as futuras gerações" (CORBELLÀ; YANNAS, 2003, p.17).

Segundo a ANEEL (2016), a energia no Brasil é de origem: biomassa (8,9%), eólica (5,13%), fóssil (17,57%), hídrica (61,56%), nuclear (1,34%), solar (0,01%) e importada (5,49%). Portanto, a produção da sua maior parte consome recursos naturais e impacta no meio ambiente, ocasionando inundações, deslocamentos de populações muitas vezes necessários, poluição e riscos de segurança pública (nos casos de usinas termoeletricas e nucleares) (SILVA, 2012).

E ainda, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN) do Ministério de Minas de Energia, em 2014 um pouco mais de 50% do consumo da energia total produzida no Brasil se dá nas edificações, sendo 27,8% nas residenciais, 19,9% nas comerciais e aproximadamente 3% nas públicas (BEN, 2016).

Nas residenciais, de acordo com Lamberts et al. (2004), o ar condicionado consome em média 7% da energia utilizada dentro de uma residência. Porém, segundo os mesmos autores, o uso destes aparelhos em nível nacional ainda é pequeno, apenas 6% das mesmas o possuem. Mas, com o desenvolvimento social crescente e a pouca qualidade em algumas construções atuais, a sua aquisição será cada vez mais significativa. Nas edificações comerciais e públicas, que representam 22,9% da energia total produzida, o ar condicionado arca em média com 20% do consumo. E, por exemplo, em um edifício comercial pode chegar a 50%, ou ainda 70% em edifícios envidraçados (LAMBERTS et al., 2004; BEN, 2016).

O incentivo ao uso eficiente da energia, com a mudança de hábitos e o desenvolvimento de novas tecnologias, pode ser a solução para reduzir o consumo sem comprometer a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico. Afinal, um edifício pode ser considerado mais eficiente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo energético. E, de acordo com o antigo PROCEL - Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica, o potencial de conservação em reformas visando à eficiência energética em prédios já construídos pode atingir a casa de 30% enquanto em novas construções pode chegar a 50% (LAMBERTS et al., 2004).

"Se os arquitetos e engenheiros tivessem mais conhecimento sobre a eficiência energética na arquitetura, ao nível do projeto ou da especificação de materiais e equipamentos, estes valores (gastos energéticos nacionais) poderiam ser reduzidos. Além de evitar a necessidade de maior produção de eletricidade no país, isto tornaria em benefício dos usuários como economia nos custos da obra e no consumo de energia" (LAMBERTS et al., 2004, p.20)

Isto posto, se o sistema de comportamento térmico, tanto tecnológico quanto no uso de materiais, das novas edificações fosse aprimorado e atuasse de forma natural, impactaria fortemente na diminuição dos números totais de consumo.

2.1.3 A ENVOLTÓRIA E SEU DESEMPENHO TÉRMICO

"A melhor forma de melhorar o desempenho de uma edificação é através do seu invólucro" (SZOKOLAY, 2010). Segundo ABNT NBR 15575 (2013), para tornar uma edificação mais eficiente energeticamente, aumentando seu desempenho, há a necessidade primeiramente de ajustar o nível de desempenho térmico da envoltória conforme o clima do local.

Portanto, a fachada, ou envoltória, ou ainda invólucro, de um edifício é o elemento fundamental no controle do desempenho térmico interior, uma vez que, segundo John et al. (2005), compreende todos os componentes que separam o *indoor* do *outdoor*, como paredes exteriores, telhados, pisos, portas e janelas. Todos estes itens funcionam como moderadores da radiação solar, temperatura, umidade, poeira e vento. Então, como primeiro passo para o design de fachadas e paredes exteriores, deve-se determinar como funciona o ambiente exterior no local do projeto e o que é desejado no ambiente interior (JOHN et al., 2005).

A NBR 15575, publicada em 2013, apresenta em seu texto algumas exigências tanto qualitativas quanto quantitativas para a tentativa de garantir o desempenho adequado das habitações brasileiras. Na quantitativa, apresenta as formas de cálculo direto ou simulação computacional do desempenho. Os resultados podem ser os níveis: insuficiente, mínimo, intermediário ou superior, dependendo

das temperaturas obtidas e da zona climática a que pertence a obra (de acordo com a NBR 15220- Parte 3), conforme as figuras 08 e 09 (ABNT NBR 15575, 2013).

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 7	Zona 8
Insuficiente	$T_{i,max} > T_{e,max}$	$T_{i,max} > T_{e,max}$
Mínimo	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$	$T_{i,max} \leq T_{e,max}$
Intermediário	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 2 \text{ }^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} \leq (T_{e,max} - 1 \text{ }^{\circ}\text{C})$
Superior	$T_{i,max} < (T_{e,max} - 4 \text{ }^{\circ}\text{C})$	$T_{i,max} < (T_{e,max} - 2 \text{ }^{\circ}\text{C})$

Fonte: adaptada de ABNT (2013).

$T_{i,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar no interior da edificação ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{e,max}$ é o valor máximo diário da temperatura do ar exterior à edificação ($^{\circ}\text{C}$)

Figura 08 - Classificação conforme avaliação de desempenho térmico para verão

Fonte: Chvatal; Roriz (2015)

Como pode ser visualizado na figura 08, no verão, o desempenho seria insuficiente caso a temperatura interna máxima resultasse maior do que a temperatura externa máxima; ou seu desempenho poderia variar entre mínimo, intermediário e superior caso a temperatura interna máxima resultasse menor ou igual a temperatura externa máxima. Quanto maior a diferença entre estas, maior o desempenho da edificação (CHVATAL; RORIZ, 2015).

Nível de desempenho	Critério	
	Zonas 1 a 5	Zonas 6, 7 e 8
Insuficiente	$T_{i,min} < (T_{e,min} + 3 \text{ }^{\circ}\text{C})$	Nestas zonas, este critério não precisa ser verificado.
Mínimo	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 3 \text{ }^{\circ}\text{C})$	
Intermediário	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 5 \text{ }^{\circ}\text{C})$	
Superior	$T_{i,min} \geq (T_{e,min} + 7 \text{ }^{\circ}\text{C})$	

Fonte: adaptada de ABNT (2013).

$T_{i,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar no interior da edificação ($^{\circ}\text{C}$)

$T_{e,min}$ é o valor mínimo diário da temperatura do ar exterior à edificação ($^{\circ}\text{C}$)

Figura 09 - Classificação conforme avaliação de desempenho térmico para inverno

Fonte: Chvatal; Roriz (2015)

De acordo com a figura 09, no inverno, o desempenho seria insuficiente caso a temperatura interna mínima obtida resultasse menor do que a temperatura externa

mínima somada a 3°C; e, da mesma forma que no verão, seu desempenho seria diretamente proporcional à diferença entre as temperaturas internas e externas obtidas (CHVATAL; RORIZ, 2015).

Após análise da norma ABNT NBR 15575, percebe-se que um edifício pode possuir um nível superior de desempenho térmico mas não necessariamente apresentar sensação de conforto térmico e vice-versa. Portanto, os índices da norma não asseguram o conforto térmico. Assim sendo, para o design de fachadas desta pesquisa, que pretende promover a sensação de conforto e o desempenho térmico eficiente das edificações, não serão utilizados números e dados quantitativos, mas apenas dados qualitativos, como os princípios de projeto, segundo Corbella e Yannas (2003), da arquitetura bioclimática ou arquitetura sustentável:

- a) Controlar os ganhos de calor;
- b) Dissipar a energia térmica do interior do edifício;
- c) Remover a umidade em excesso e promover o movimento de ar;
- d) Promover o uso da iluminação natural;
- e) Controlar o ruído.

Através de:

- a) Para controlar os ganhos de calor:
 - minimizar a energia solar que entra pelas aberturas;
 - minimizar a energia solar absorvida pelas paredes externas;
 - colocar isolantes térmicos nas superfícies mais castigadas pelo sol (paredes ou teto)

Estratégias:

- posicionar o edifício de maneira a obter a mínima carga térmica devida à energia solar (através do estudo da trajetória aparente do sol);
- proteger as aberturas contra a entrada do sol (através da utilização de obstáculos: *brise-soleils*, cobogós, vegetação, etc);
- dificultar a chegada do sol às superfícies do envelope do edifício (através da utilização de obstáculos: *brise-soleils*, cobogós, vegetação, etc);

- minimizar a absorção do sol pelas superfícies externas (através da pintura das paredes com cores claras ou da utilização de obstáculos);
 - determinar a orientação e o tamanho das aberturas para atender às necessidades da luz natural.
- b) Para aumentar a dissipação de energia do espaço habitado deve-se:
- promover níveis maiores de ventilação quando a temperatura externa for menor que a interna (o que significa boa disposição das aberturas, áreas corretas e fechamentos de boa qualidade, ou ventilação mecânica controlada);
 - combinar a possível ventilação noturna com inércia térmica (saber como promover o movimento do ar, e como escolher e dispor os elementos e materiais de construção);
 - transferir o calor para zonas com temperatura menor que a do ambiente habitado (depósitos, garagens, subsolos, etc.).
- c) Para remover a umidade em excesso e movimentar o ar deve-se:
- promover o movimento do ar e sua renovação, no período no qual as pessoas estejam ocupando o ambiente.
- d) Na promoção do uso da iluminação natural:
- estudar as aberturas que deixarão entrar a luz natural, sem permitir a entrada da radiação solar direta.
- e) Para o controle do ruído:
- dispor elementos que dificultem sua transmissão, tanto para os ruídos provindos de fontes localizadas no próprio edifício quanto para os gerados fora dele (CORBELLÀ; YANNAS, 2003).

Caso os projetistas mudassem suas práticas na fase de projeto e de especificação de materiais, a quantidade de energia utilizada no ambiente construído poderia ser drasticamente reduzida, resultando em economia nos custos da obra e no consumo de energia e ainda menores impactos ambientais (LAMBERTS et al., 2004).

2.1.3.1 CÁLCULO DAS TROCAS TÉRMICAS

Na física, quando existe uma diferença de temperatura entre duas regiões do espaço, esta tende a desaparecer, espontaneamente, pela passagem de calor de uma região para a outra, isto se chama transmissão de calor. Esta transmissão pode ser por condução, convecção ou irradiação (COSTA, 1991; LAMBERTS et al., 2004).

Lamberts et al. (2004) apresentam tabelas de propriedades dos materiais de construção para possibilitar os cálculos e identificar se uma parede é ou não adequadamente construída para certos tipos de clima. Neste fechamento, chamado de "opaco", a transmissão de calor ocorre em três fases:

- 1) A primeira é a troca com o meio exterior, por convecção⁵ e radiação, que depende da resistência superficial externa do material empregado, ou seja da absorvidade (α) do material, definida principalmente pela sua cor, onde o mais escuro absorve mais calor.

Quadro 02 - Absortividade dos materiais, relacionado às cores

COR	ABSORTIVIDADE (α)
Escura	0,7 a 0,9
Média (tijolo)	0,5 a 0,7
Clara	0,2 a 0,5

Fonte: Lamberts et al. (2004)

- 2) A segunda troca é feita por condução⁶ e radiação. Condução através do fechamento, que por sua vez depende da resistência térmica, produto da espessura (L) pelo inverso da condutividade (λ) $R=L/\lambda$ (m^2K/W) do material empregado.

⁵ convecção - forma de transferência de calor de uma superfície de um sólido para um fluido (gás ou líquido) e vice-versa.

⁶ condução - é a forma de propagação de calor dentro de um corpo, isto é, difusão do movimento molecular através de um objeto ou objetos em contato.

Quadro 03 - Condutividade de alguns materiais de construção

MATERIAL	CONDUTIVIDADE (λ) ($\text{m}^2\text{K/W}$)
Concreto	1,5
Tijolo	0,65
Madeira	0,14
Isopor	0,03
MATERIAIS ISOLANTES TÉRMICOS	-
Lã de rocha / lã de vidro	0,045
Poliestireno expandido	0,035
Espuma rígida de poliuretano extrudado	0,030

* quanto maior o valor, maior será a quantidade de calor transferida entre as superfícies.

Fonte: autor, adaptado de Lamberts et al. (2004)

Pode-se reduzir consideravelmente as trocas de calor em um fechamento opaco empregando materiais com condutividades mais baixas ou até construindo fechamentos com múltiplas camadas, podendo uma das quais ser uma câmara de ar (LAMBERTS et al., 2004).

A radiação feita ainda na segunda troca depende da emissividade (ϵ) da camada superficial do material em contato com a camada de ar (quantidade de energia térmica emitida por unidade de tempo).

Quadro 04 - Emissividade de alguns materiais de construção

MATERIAL	EMISSIVIDADE (ϵ)
Metálicos	0,05 a 0,30
Não metálicos - Demais materiais	0,85 a 0,90

Fonte: Lamberts et al. (2004)

- 3) A terceira troca de calor é feita com o meio interior, que volta a ser por convecção e radiação, dependendo da resistência superficial interna do fechamento e das perdas por radiação.

Quadro 05 - Resistência superficial de acordo com a direção do fluxo

	R _{si} ($\text{m}^2\text{K/W}$)			R _{se} ($\text{m}^2\text{K/W}$)
Direção do fluxo	Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal / ascendente / descendente
	0,13	0,10	0,17	0,04

Fonte: Lamberts et al. (2004)

Cada uma das camadas de um fechamento tem uma resistência térmica distinta. A resistência total da parede é a soma das resistências das camadas. A transmitância térmica é o inverso da resistência total (LAMBERTS et al., 2004; COSTA, 1991):

$$R_t = R_{se} + R_1 + R_2 + \dots + R_{si}$$

$$U = 1/R_t$$

Lamberts et al. (2004) apresentam ainda fórmulas para cálculo total do fluxo de calor transmitido, conforme abaixo:

No inverno (considerando a temperatura interior maior do que a exterior) o fluxo de calor é equacionado por:

$$q = U \times (t_e - t_i), \text{ onde:}$$

q - fluxo de calor (W/m^2)

U - transmitância térmica (W/m^2K)

t_e - temperatura externa ($^{\circ}C$ ou K)

t_i - temperatura interna ($^{\circ}C$ ou K)

No verão, a temperatura do ar exterior tende a ser superior à do ar interior e a incidência do sol nos fechamentos opacos pode incrementar o fluxo de calor para dentro do ambiente. Então o fluxo térmico fica definido pela equação:

$$q = U \times (\alpha \times I \times R_{se} + t_e - t_i), \text{ onde:}$$

U - transmitância térmica (W/m^2K)

α - absortividade da camada superficial externa ao fechamento

I - Radiação solar (W/m^2)

R_{se} - resistência superficial externa ($m^2 K/W$)

t_e - temperatura externa ($^{\circ}C$ ou K)

t_i - temperatura interna ($^{\circ}C$ ou K).

(LAMBERTS et al., 2004).

Na análise das fórmulas apresentadas, percebe-se que o fluxo de calor é diretamente proporcional à transmitância térmica (sendo também diretamente proporcional à condutividade), à absortividade e à resistência superficial do material, além da diferença de temperatura externa e interna e da radiação solar, e inversamente proporcional à espessura da parede. Portanto, quanto maior a sua condutividade, ou a superfície exposta ou a diferença de temperatura entre as faces externas, mais calor é transmitido. Mas, quanto maior a espessura da parede, menos há transmissão de calor (LAMBERTS et al., 2004).

Para um bom desempenho térmico, deve-se iniciar mapeando a zona climática e o clima do local de projeto. E se o objetivo é isolamento térmico, o intento é especificar um tipo de fechamento que evite as perdas de calor excessivas no inverno e os ganhos elevados no verão (LAMBERTS et al., 2004).

2.1.3.2 MATERIAIS ISOLANTES TÉRMICOS

Como visto, os isolantes são materiais de baixo coeficiente de condutividade (λ). Eles são normalmente materiais porosos. Quanto menor a densidade do material e maior o número de poros, maior o seu poder de isolamento. A finalidade do isolamento é evitar as trocas térmicas indesejáveis e manter a temperatura da parede a níveis adequados, tanto no calor como no frio (COSTA, 1991).

Um bom isolante deve apresentar as seguintes qualidades:

- a) baixa condutividade térmica;
- b) resistir bem à temperatura em que é aplicado;
- c) boa resistência mecânica;
- d) ser imputrescível e inatacável por pragas;
- e) ser incombustível;
- f) não ser higroscópico e apresentar, se possível, baixa porosidade à penetração do vapor d'água.

(COSTA , 1991, p.91)

Comparando a resistência térmica dos isolantes com a do tijolo comum, pode-se concluir que em média:

Quadro 06 - Comparação entre materiais isolantes e tijolo

Uma espessura de 1 cm de isolante:	Equivale a uma espessura de tijolo de:
Madeira de pinho	6 cm
Papelão corrugado	10 cm
Cortiça, lã de vidro	18 cm
Madeira balsa	21 cm
Eucatex frigorífico	30 cm
Styropor	31 cm
Moltopren	42 cm

Fonte: COSTA (1991)

Na análise do quadro 06, percebe-se o quão vantajoso é a utilização de materiais isolantes em paredes caso o objetivo seja este. O cálculo da espessura do isolante a adotar pode obedecer a três critérios: tanto econômico - à medida que se aumenta a espessura, as perdas térmicas diminuem, mas o custo do isolamento aumenta (o investimento mais econômico será aquele para o qual a soma do custo anual das perdas térmicas e do custo anual de amortização do material isolante seja um mínimo); quanto de limite de temperatura superficial; quanto de limite de fluxo térmico.

2.1.4 SISTEMAS DE CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL PARA EDIFICAÇÕES

A crescente preocupação com o desenvolvimento sustentável das áreas urbanas levou à implementação de mecanismos para incentivo do mínimo impacto ambiental, utilizando a menor quantidade de recursos naturais e a melhor ocupação dos espaços disponíveis.

O primeiro sinal da necessidade da avaliação do desempenho ambiental de um edifício foi com a constatação de que alguns projetos, mesmo em países cujos profissionais acreditavam dominar os conceitos ecológicos, executados com este propósito, frequentemente consumiam ainda mais energia. Com a finalidade de se

criar um norteador e formalizar a qualidade de um empreendimento para o mercado, no final da década de 1980, iniciou-se o desenvolvimento de sistemas de certificação ambiental para as construções civis, como uma forma de avaliação objetiva da sustentabilidade no ambiente construído (SILVA, 2007).

Estes sistemas são avaliações do desempenho ambiental durante o todo o ciclo de vida, desde o planejamento, construção ou reforma, uso e operação, até a desconstrução, de empreendimentos em geral, novos ou antigos a serem reformados. Na sua maioria, são *checklists* de critérios a serem analisados através de um sistema de pontuação e peso, visando melhorar o desempenho em termos de energia, água, emissão de CO², qualidade interior dos ambientes e administração dos recursos naturais, minimizando impactos ambientais (HILGENBERG, 2010).

Existem ao redor do mundo vários sistemas de certificação, como por exemplo: BREEAM (*BRE's Environmental Assessment Method*) - Reino Unido; *Gren Star* - Austrália; CASBEE (*Assessment System for Building Environmental Efficiency*) - Japão; HQE (*Haute Qualité Environnementale*) - França; LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) - EUA, Canadá, México e Índia, entre outros (AGOPYAN; JOHN, 2011). No Brasil, os sistemas mais aplicados são: LEED, através do GBC (*Green Building Council*) Brasil; PROCEL; Selo Casa Azul da Caixa Econômica Federal; e AQUA-HQE (Alta Qualidade Ambiental) (SILVA, 2012).

Para este estudo trabalhou-se com o sistema LEED, por ser o mais difundido no mundo (GBC BRASIL, 2015), e o sistema AQUA-HQE, por ser o primeiro sistema com todo o processo realizado no Brasil, adaptado às suas leis, normas e demais condições.

2.1.4.1 LEED-CS

O sistema de certificação LEED foi iniciado em 1996 nos Estados Unidos pelo USGBC (*United States Green Building Council*). Hoje é utilizado em 143 países e no Brasil é aplicado pelo GBC Brasil (*Green Building Council* Brasil).

Possui oito tipologias de certificação para diferentes tipos de edificação: NC - *New Construction* (Novas Construções e Grandes Reformas); EB - *Existing Buildings* (Edifícios Existentes); CI - *Commercial Interiors* (Interiores Comerciais); CS - *Core &*

Shell (Envoltória e Estrutura principal); Retail - Retail (Lojas de varejo); Schools - Schools (Escolas); ND - Neighborhood Development (Desenvolvimento de Bairros); e HC - Health Care (Hospitais) (GBC BRASIL, 2015).

Neste trabalho, relativo à área de design e estudando o conforto térmico que resulta em grande parte do isolamento proporcionado pelas fachadas, trabalha-se com o LEED-CS, por ser referente à envoltória da edificação.

A versão utilizada neste trabalho, a última publicada pelo GBC Brasil (de 2009), apresenta sete categorias de avaliação, totalizando 110 pontos possíveis de serem alcançados. Conforme a pontuação, a edificação pode ser classificada como: Certificada (40 a 49 pontos), Prata (50 a 59 pontos), Ouro (60 a 79 pontos) ou Platina (80 pontos ou mais) (GBC BRASIL, 2015).

Categorias do LEED-CS e suas pontuações possíveis:

1. Espaço sustentável - 28 pontos
2. Uso racional da água - 10 pontos
3. Energia e atmosfera - 37 pontos
4. Materiais e recursos - 13 pontos
5. Qualidade ambiental Interna - 12 pontos
6. Inovação e processo do projeto - 6 pontos
7. Créditos regionais - 4 pontos (GBC BRASIL, 2015).

Utilizando a pontuação praticada pelo LEED-CS, foi possível elaborar o gráfico 01, que apresenta a comparação das diferentes pontuações entre as categorias:

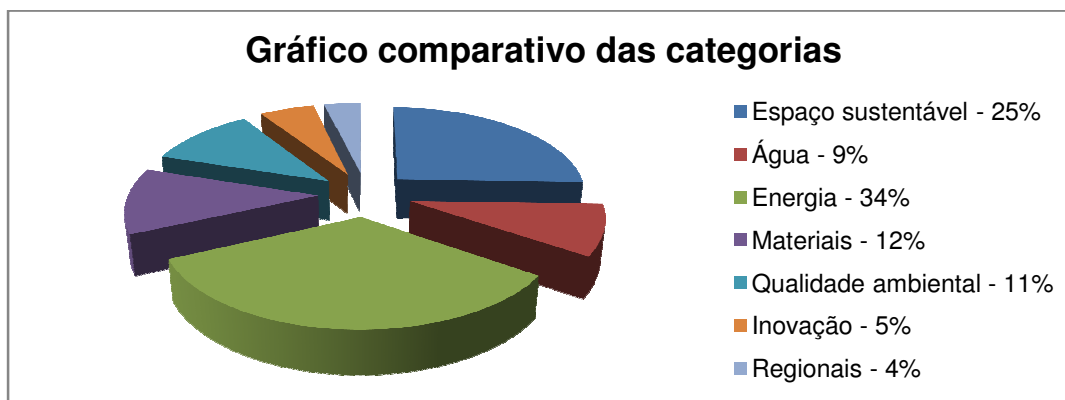


Gráfico 01 - Comparativo entre as pontuações possíveis nas categorias do LEED-CS versão 2009

Fonte: autor

Na análise do gráfico 01 pode-se perceber a relevância da Energia e Atmosfera no contexto geral da pontuação, com 34% do total. Outra área de interesse desta pesquisa é a Qualidade Ambiental Interna, que representa 11% do total da pontuação e onde estaria inserido a área de conforto térmico no ambiente interior.

A figura 10 apresenta os créditos e pré-requisitos avaliados dentro da categoria Energia e Atmosfera do LEED-CS:

Yes	?	No	Energia e Atmosfera		37 Pontos
Y			Pré-requisito 1	Comissionamento dos sistemas de energia	Requisito
Y			Pré-requisito 2	Performance Mínima de Energia, 10% novas construções e 5% edifícios existentes	Requisito
Y			Pré-requisito 3	Gestão Fundamental de Gases Refrigerantes	Requisito
			Crédito 1	Otimização da performance energética	3 a 21
				12% Prédios Novos ou 8% Prédios Reformados	3
				14% Prédios Novos ou 10% Prédios Reformados	4
				16% Prédios Novos ou 12% Prédios Reformados	5
				18% Prédios Novos ou 14% Prédios Reformados	6
				20% Prédios Novos ou 16% Prédios Reformados	7
				22% Prédios Novos ou 18% Prédios Reformados	8
				24% Prédios Novos ou 20% Prédios Reformados	9
				26% Prédios Novos ou 22% Prédios Reformados	10
				28% Prédios Novos ou 24% Prédios Reformados	11
				30% Prédios Novos ou 26% Prédios Reformados	12
				32% Prédios Novos ou 28% Prédios Reformados	13
				34% Prédios Novos ou 30% Prédios Reformados	14
				36% Prédios Novos ou 32% Prédios Reformados	15
				38% Prédios Novos ou 34% Prédios Reformados	16
				40% Prédios Novos ou 36% Prédios Reformados	17
				42% Prédios Novos ou 38% Prédios Reformados	18
				44% Prédios Novos ou 40% Prédios Reformados	19
				46% Prédios Novos ou 42% Prédios Reformados	20
				48% Prédios Novos ou 44% Prédios Reformados	21
			Crédito 2	Energia Renovável no local	4
			Crédito 3	Melhoria no comissionamento	2
			Crédito 4	Melhoria na gestão de gases refrigerantes	2
			Crédito 5.1	Medições & Verificações: Base do Edifício	3
			Crédito 5.2	Medições & Verificações: Sub-medição de inquilinos	3
			Crédito 6	Energia Verde	2
Yes	?	No			

Figura 10 - Critérios analisados dentro da categoria Energia e Atmosfera no sistema LEED - CS versão 2009

Fonte: GBC Brasil, 2015

Na análise da figura 10 e das informações do Sistema de Classificação do LEED-CS (GBC Brasil, 2015) nota-se que, para o sistema de avaliação aplicado na categoria Energia e Atmosfera, os pré-requisitos e seus objetivos para as edificações são:

1) Comissionamento dos sistemas de energia

Objetivo: verificar se o projeto dos sistemas de energia relacionados estão instalados, calibrados e funcionando de acordo com os requisitos do proprietário e do projeto.

Benefícios incluem redução no uso de energia, custos de operação mais baixos, redução das chamadas do empreiteiro para manutenção, melhores documentações da edificação, melhor produtividade pelos ocupantes e possível verificação se os sistemas estão funcionando de acordo com os requisitos de projeto e do proprietário. Deve ser preenchido, se instalados na edificação, no mínimo para os controles dos sistemas: Aquecimento, ventilação, ar-condicionado e refrigeração; de iluminação e de iluminação natural; água quente doméstica; e de energias renováveis (exemplo vento ou solar) (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

2) Performance mínima de energia

Objetivo: estabelecer o mínimo nível de eficiência energética para o edifício proposto e seus sistemas, afim de reduzir impactos econômicos e ambientais associados ao uso excessivo de energia.

Opção 1 - através da simulação do consumo de energia de toda a edificação

Demonstrar uma melhora de 10% no edifício proposto para novas edificações, ou 5% de melhora no caso de reformas de edifícios existentes, em comparação com as taxas médias de performance de consumo (calculadas de acordo com o método do Apêndice G do ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007, utilizando uma simulação computacional).

As demais opções são para edifícios com usos específicos, não sendo foco desta pesquisa (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

3) Gestão Fundamental de Gases Refrigerantes

Objetivo: reduzir a destruição da camada de ozônio

Por meio do "uso zero" de gases refrigerantes à base de CFC (clorofluorcarbono) para os sistemas de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

E ainda os créditos que são pontuados de acordo com os níveis alcançados:

1) Otimização da performance energética - de 3 a 21 pontos

Objetivo: alcançar níveis ainda melhores de performance energética além dos pré requisitos.

Requisitos:

Opção 1 - através da simulação do consumo de energia de toda a edificação

Demonstrar melhora de no mínimo 12% no edifício proposto para novas edificações, ou 8% de melhora no caso de reformas de edifícios existentes (3 pontos), em comparação com as taxas médias de performance de consumo (calculadas de acordo com o método do Apêndice G do ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007⁷, utilizando uma simulação computacional).

As demais opções são para edifícios com usos específicos, não sendo foco desta pesquisa (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

2) Energia renovável no local - 4 pontos

Objetivo: encorajar e reconhecer maiores níveis de energia renovável do local autossuficiente para reduzir impactos econômicos e ambientais associados com o uso de energia de combustíveis fósseis.

Utilizar sistemas de energia renováveis para compensar os custos da edificação com energia (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

3) Melhoria no comissionamento - 2 pontos

Objetivo: começar o comissionamento no início do processo de design e executar atividades adicionais após a conclusão da verificação da performance dos sistemas (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

4) Melhoria na gestão de gases refrigerantes - 2 pontos

Objetivo: reduzir a destruição da camada de ozônio e estar em conformidade com o protocolo de Montreal⁸ para minimizar as alterações climáticas.

Requisitos:

Opção 1 - não usar gases refrigerantes

Opção 2 - selecionar gases refrigerantes e equipamentos de aquecimento, ventilação, ar condicionado e refrigeração que eliminem ou minimizem os componentes que contribuem para destruição da camada de ozônio ou para as mudanças climáticas (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

⁷ ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2007 Final Determination Quantitative Analysis - Criado pelo departamento de energia dos Estados Unidos da América - disponível em: www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-20456.pdf

⁸ Protocolo de Montreal - é um acordo internacional de 1985 entre diversos países para proteção da camada de ozônio.

5) .1) Medições e Verificações: Base do Edifício - 3 pontos

Objetivo: prever para o contínuo consumo de energia pela edificação ao longo do tempo (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

5) .2) Medições e Verificações: sub medição de inquilinos - 3 pontos

Objetivo: prever para o contínuo consumo de eletricidade pela edificação ao longo do tempo (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

6) Energia Verde - 2 pontos

Objetivo: encorajar o desenvolvimento e uso de tecnologias de energia renovável em uma base de poluição zero.

Engajar um contrato renovável de no mínimo 2 anos para fornecer no mínimo 35% da eletricidade para o "*core and shell*" do edifício de fontes renováveis (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

A figura 11 apresenta os créditos e pré-requisitos avaliados dentro da categoria Qualidade Ambiental Interna:

Yes	?	No	Qualidade Ambiental Interna		12 Pontos
Y			Pré-requisito 1	Desempenho Mínimo da Qualidade do Ar Interno	Requisito
Y			Pré-requisito 2	Controle da fumaça do cigarro	Requisito
			Crédito 1	Monitoração do Ar Externo	1
			Crédito 2	Aumento da Ventilação	1
			Crédito 3	Plano de Gestão de Qualidade do Ar, Durante a Construção	1
			Crédito 4.1	Materiais de Baixa Emissão, Adesivos e Selantes	1
			Crédito 4.2	Materiais de Baixa Emissão, Tintas e Vernizes	1
			Crédito 4.3	Materiais de Baixa Emissão, Carpetes e sistemas de piso	1
			Crédito 4.4	Materiais de Baixa Emissão, Madeiras Compostas e Produtos de Agrofibra	1
			Crédito 5	Controle interno de poluentes e produtos químicos	1
			Crédito 6	Controle de Sistemas, Conforto Térmico	1
			Crédito 7	Conforto Térmico, Projeto	1
			Crédito 8.1	Iluminação Natural e Paisagem, Luz do dia para 75% dos espaços	1
			Crédito 8.2	Iluminação Natural e Paisagem, Vistas para 90% dos espaços	1

Figura 11 - Critérios analisados dentro da categoria Qualidade Ambiental Interna no sistema LEED - CS versão 2009

Fonte: GBC Brasil, 2015

Na análise da figura 11 e das informações do Sistema de Classificação do LEED-CS sobre a categoria Qualidade Ambiental Interna do LEED-CS, são pré-requisitos e seus objetivos para as edificações:

1) Desempenho mínimo da qualidade do ar interno

Objetivo: estabelecer uma performance mínima de qualidade do ar interno, para melhorar a qualidade do ar em edifícios, e assim contribuir para o conforto e bem-estar dos ocupantes.

Encontrar os requerimentos mínimos da Seção 4 até a 7 do ASHRAE Standard 62.1.2007⁹, ventilação para qualidade do ar interno aceitável, utilizado para espaços com ventilação mecânica ou com ventilação natural (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

2) Controle da fumaça do cigarro

Objetivo: evitar ou minimizar a exposição dos ocupantes do edifício, superfícies interiores, e sistemas de ventilação à fumaça do cigarro (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

E ainda os créditos que podem ser pontuados:

1) Monitoramento do ar externo - 1 ponto

Objetivo: capacitar a monitoramento do sistema de ventilação para promover o conforto e bem estar.

Instalar sistemas de monitoramento permanente para assegurar que os sistemas de ventilação mantenham as exigências mínimas de design (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

2) Aumento da ventilação - 1 ponto

Objetivo: promover ventilação adicional do ar externo para melhorar a qualidade do ar interno e promover o conforto, bem-estar e produtividade do ocupante.

(GBC Brasil, 2015, livre tradução).

3) Plano de gestão de qualidade do ar - durante a construção - 1 ponto

Objetivo: reduzir os problemas de qualidade do ar interno resultantes da construção ou reforma e promover o conforto e bem-estar dos operários e ocupantes do edifício (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

⁹ ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2007 - *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality* - Criado pelo American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc - disponível em: www.mintie.com/assets/pdf/education/ASHRAE%2062.1-2007.pdf

- 4) Materiais de baixa emissão - 4 pontos, sendo 1 para adesivos e selantes; 1 para tintas e vernizes; 1 para carpetes e sistemas de piso; e 1 para madeiras compostas e produtos de agrofibras

Objetivo: reduzir a quantidade de contaminantes do ar interno que possuem cheiro muito forte, são irritantes e/ou perigosos para o conforto e bem-estar dos instaladores e ocupantes (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

- 5) Controle Interno de poluentes e produtos químicos - 1 ponto

Objetivo: minimizar a exposição do ocupante a poluentes químicos potencialmente prejudiciais (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

- 6) Controle de sistemas - Conforto térmico - 1 ponto

Objetivo: promover um controle de alto nível de conforto térmico por ocupantes individuais ou grupos em espaços de vários ocupantes e promover a sua produtividade, conforto e bem-estar.

Prover controle de conforto individual para no mínimo 50% do edifício para que encontre as necessidades e preferências individuais de cada um.

Prover sistemas de controle de conforto para todos os ambientes multi-ocupados para promover ajustes que se adequem às necessidades e preferências de grupos de pessoas.

As condições de conforto térmico são descritas no ASHRAE Standard 55-2004¹⁰ e incluem os fatores primários de temperatura do ar, temperatura radiante, velocidade do ar e umidade (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

- 7) Conforto térmico - Projeto - 1 ponto

Objetivo: fornecer um ambiente confortável termicamente que promova a produtividade e bem-estar.

Projetar os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, além da envoltória da edificação de acordo com os requisitos do ASHRAE Standard 55-2004

¹⁰ Criado pelo *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc* - ANSI/ASHRAE Standard 55-2004 - *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy* - disponível em: www.almassepahan.com/fh/download/ASHRAE_Thermal_Comfort_Standard.pdf

- Condições de Conforto térmico para a ocupação humana (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

8) Iluminação natural e paisagem - 2 pontos, sendo 1 para luz do dia para 75% dos espaços; e 1 para vistas para 90% dos espaços

Objetivo: fornecer aos ocupantes do edifício uma conexão entre os espaços internos e externos através da introdução da luz do dia e vistas nas áreas ocupadas da edificação.

Deve-se atingir luz natural do dia no mínimo em 75% dos espaços da edificação (GBC Brasil, 2015, livre tradução).

2.1.4.2 AQUA-HQE

O sistema de certificação AQUA (Alta Qualidade Ambiental), lançado em 2008, é aplicado pela Fundação Vanzolini¹¹ e foi adaptado do sistema francês *Démarche HQE (Haute Qualité Environnementale)* às normas, legislações e cultura brasileiras (VANZOLINI, 2015).

No ano de 2013, os organismos de certificação QUALITEL (residencial) e CERTIVEA (não residencial) foram unidos para criar uma identidade única, a Rede Internacional de Certificação HQE™. Esta padronização permitiu uma comparação dos sistemas de certificação e desenvolvimentos sustentáveis entre os diversos países. É neste momento que o processo AQUA transforma-se em AQUA-HQE™, uma certificação com identidade e reconhecimento internacionais (VANZOLINI, 2015).

O sistema apresenta dois tipos de referenciais técnicos para avaliação das edificações: um para as residenciais e outro para as não residenciais. Na análise desta pesquisa, trabalha-se com o referencial técnico para edifícios residenciais.

¹¹ Fundação Vanzolini - estabelecida e mantida pelos professores do Departamento de engenharia de Produção da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo desde 1967, é a primeira e a principal certificadora da construção civil no Brasil

Neste referencial, há 14 categorias que se dividem em quatro grandes temas: Energia e Economias; Conforto; Saúde e Segurança; e Meio Ambiente, conforme pode ser visualizado na figura 12.



Figura 12 - Categorias de avaliação do AQUA-HQE divididas nos quatro temas

Fonte: autor, adaptado de VANZOLINI (2015)

Para a certificação, estas categorias são analisadas e classificadas nos níveis BASE (B), BOAS PRÁTICAS (BP), MELHORES PRÁTICAS (MP), ou NÃO CONFORME (NC) - caso o edifício não atinja o mínimo necessário -, conforme perfil ambiental definido (VANZOLINI, 2015).

Perfil Mínimo de desempenho para certificação

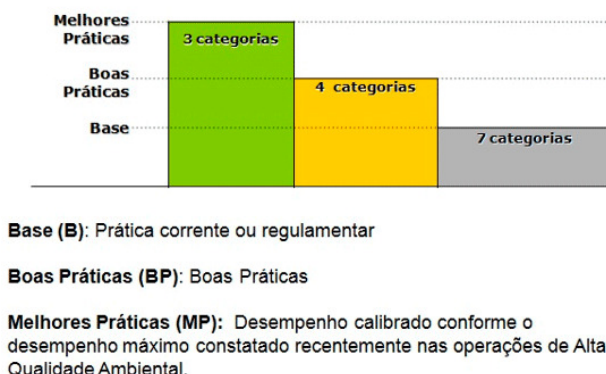


Figura 13 - Perfil mínimo para certificação AQUA

Fonte: VANZOLINI, 2015

Conforme pode ser visualizado na figura 13, para um empreendimento ser certificado AQUA-HQE, ele deve alcançar no mínimo 3 categorias no nível MELHORES PRÁTICAS, 4 categorias no nível BOAS PRÁTICAS e 7 categorias no nível BASE.

Neste trabalho, se fez necessário o estudo dos critérios técnicos relativos à Gestão de Energia e Conforto Higrotérmico no ambiente interior. Dentro destas duas categorias, no sistema AQUA-HQE para edifícios residenciais, os mesmos são apresentados no quadro 07 (VANZOLINI, 2015).

Quadro 07 - Critérios técnicos de Gestão de Energia e Conforto Higrotérmico do sistema AQUA-HQE para Edifícios Residenciais

Categoria 4 - Gestão da energia	
4.1 Concepção térmica	
✓	Melhoria da aptidão da envoltória para limitar desperdícios de energia;
✓	Estimar o consumo de energia referente a 5 fatores (aquecimento, resfriamento, iluminação, água quente e auxiliares): até 120 kWh de energia final/an.m² de área útil - nível Base; até 80 kWh de energia final/an.m² de área útil - nível BP; até 50 kWh de energia final/an.m² de área útil - nível MP.
✓	Justificar o desempenho do edifício em função de suas necessidades ligadas à zona climática do empreendimento.
	BP (nível boas práticas) exige ainda:
✓	Incluir pelo menos uma instalação de energia renovável, recuperação de energia ou de cogeração nas residências isoladas;
✓	Selecionar e conceber instalações eficientes de resfriamento (se houver):

<ul style="list-style-type: none"> • isolamento térmico e proteção solar dos espaços com ar condicionado; • unidades externas de ar condicionado protegidas do sol; • ventilação noturna; • neblina; • etc. <p>MP (nível melhores práticas) exige ainda:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Realizar um estudo dos custos globais do fornecimento de energia; ✓ Instalar um painel que forneça informações sobre o consumo de energia por fator (5 fatores da STD, além do consumo das tomadas elétricas). ✓ Incluir pelo menos uma instalação de energia renovável, recuperação de energia ou de cogeração em edifícios coletivos.
4.2 Redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão
<ul style="list-style-type: none"> ✓ O empreendedor deve utilizar a etiquetagem de eficiência energética do Inmetro ENCE como referência na escolha dos equipamentos para resfriamento, aquecimento, ventilação e exaustão de ambientes.
4.3 Energia térmica solar e/ou painéis fotovoltaicos
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Usar energias renováveis locais (se viável técnica e economicamente) ✓ Orientar e inclinar os painéis solares de modo a obter um rendimento ótimo (se instalado).
4.4 Desempenho do sistema para produção de água quente
<p>Sistema de água quente / Sistema de aquecimento solar / Sistema de aquecimento a gás / Bombas de calor / Sistema de aquecimento elétrico</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Atendimento aos pré-requisitos para os sistemas estabelecidos pelo regulamento RTQ-R para o nível eficiência energética (mínimo) de edificações residenciais publicados pelo Inmetro / Procel; ✓ Isolar as redes de distribuição de frio (ar condicionado, ventilação de teto, etc.) de modo a limitar a perda térmica e a condensação.
4.5 Iluminação artificial - circulações horizontais e verticais / espaços e caminhos externos
4.6 Iluminação artificial - espaços externos
4.7 Elevador (se existir)
4.8 Redução do consumo de energia dos demais equipamentos
4.9 Controle do consumo de energia
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Prever, para cada residência, um medidor ou sub medidor específico para os seguintes fatores: aquecimento e água quente, se a sua produção for coletiva.
Categoria 8 - Conforto Higrotérmico
8.1 Implantação de medidas arquitetônicas para otimização do conforto higrotérmico de verão e de inverno
<ul style="list-style-type: none"> ✓ O empreendedor leva em consideração as características do local do empreendimento

(principalmente para o conforto no verão); ✓ Por meio de uma concepção arquitetônica adequada, o empreendedor descreve de que maneira favorece as boas condições de conforto higrotérmico no verão e no inverno.
8.2 Conforto em período de inverno
✓ Atendimento ao desempenho térmico mínimo para as condições de inverno da ABNT NBR 15575.
8.3 Conforto em período de verão
✓ Atendimento ao desempenho térmico mínimo para as condições de verão da ABNT NBR 15575.
8.4 Medida do nível de higrometria
✓ Equipar cada residência com um termoigrômetro.

Fonte: adaptado de Vanzolini (2015)

A Fundação Vanzolini apresenta ainda quais são os benefícios de um empreendimento certificado AQUA-HQE, tanto para o empreendedor, quanto para o usuário final, e ainda para a sociedade:

Para o empreendedor:

- Comprovar a Alta Qualidade Ambiental das suas construções;
- Diferenciar seu portfólio no mercado;
- Aumentar a velocidade de vendas ou locação;
- Manter o valor do seu patrimônio ao longo do tempo;
- Associar a imagem da empresa à Alta Qualidade Ambiental;
- Melhorar o relacionamento com órgãos ambientais e comunidades;
- Ter um reconhecimento internacional.

Para o usuário:

- Economia direta no consumo de água e de energia elétrica;
- Menores despesas condominiais gerais – água, energia, limpeza, conservação e manutenção;
- Melhores condições de conforto e saúde;
- Maior valor patrimonial ao longo do tempo;
- Consciência de sua contribuição para o desenvolvimento sustentável e a sobrevivência no planeta.

Para a sociedade e meio ambiente:

- Menor demanda sobre as infraestruturas urbanas;
- Menor demanda de recursos hídricos;

- Redução das emissões de Gases de Efeito Estufa;
- Redução da poluição;
- Melhores condições de saúde nas edificações;
- Melhor aproveitamento da infraestrutura local;
- Menor impacto à vizinhança;
- Melhor qualidade de vida;
- Melhor gestão de resíduos sólidos;
- Melhor gestão de riscos.

(VANZOLINI, 2015)

2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO (PDP)

No assunto novos produtos, os consumidores desejam novidades e melhores opções a preços razoáveis; os vendedores, diferenciação e vantagem competitiva; os engenheiros de produção, simplicidade na fabricação e facilidade de montagem; os designers, experimentar novos materiais, processos e soluções formais; e os empresários, poucos investimentos e retorno rápido do capital. Isto posto, o desenvolvimento de produtos é uma atividade complexa, envolvendo diversos interesses e habilidades distintas (BAXTER, 1998).

O desenvolvimento de novos produtos está relacionado à identificação de uma oportunidade, além das necessidades e desejos dos usuários. O processo de desenvolvimento de produtos (PDP) depende então das necessidades de mercado, das possibilidades e restrições tecnológicas e das estratégias competitivas do produto e da empresa que o deseja desenvolver, buscando chegar às especificações de projeto e do processo de produção capacitado a produzi-lo (ROZENFELD et al., 2006).

A gestão do sistema de desenvolvimento de produtos engloba os processos, tarefas e atividades de planejamento, organização, decisão e ação envolvidos para alcançar o sucesso esperado; envolvendo fornecedores, clientes, áreas de marketing, vendas, engenharia, P&D, produção, e outras (CHENG; FILHO, 2007).

Diversas metodologias são propostas na literatura para desenvolvimento de produtos. Estas metodologias apresentam basicamente a mesma linearidade e sequência de pensamento, portanto neste trabalho serão estudadas apenas as sugeridas por Takahashi e Takahashi (2007), Rozenfeld et al. (2006) e Baxter (1998).

A primeira, segundo Takahashi e Takahashi (2007), apresenta 5 fases conforme demonstra a figura 14, que em uma progressão no tempo diminui a incerteza e caracteriza o PDP analogamente a um funil. As fases são as seguintes:

- Fase 0 - Avaliação de conceito: avaliar as oportunidades de produto e iniciar o PDP;
- Fase 1 - Planejamento e especificação: definir claramente o produto, identificar vantagens competitivas, esclarecer funcionalidade e determinar a

viabilidade do desenvolvimento em um grau mais detalhado do que a fase anterior;

- Fase 2 - Desenvolvimento: desenvolver o produto propriamente dito, baseando-se nas decisões tomadas e aprovadas. Os detalhes do projeto e atividades de desenvolvimento acontecem nesta fase;
- Fase 3 - Teste e avaliação - realizar um teste final e preparar a produção e o lançamento do produto;
- Fase 4 - Liberação do produto: verificar se a produção, o marketing de lançamento do produto, o sistema de distribuição e o suporte ao produto estão preparados para iniciar as atividades.

(TAKAHASHI; TAKAHASHI, 2007).

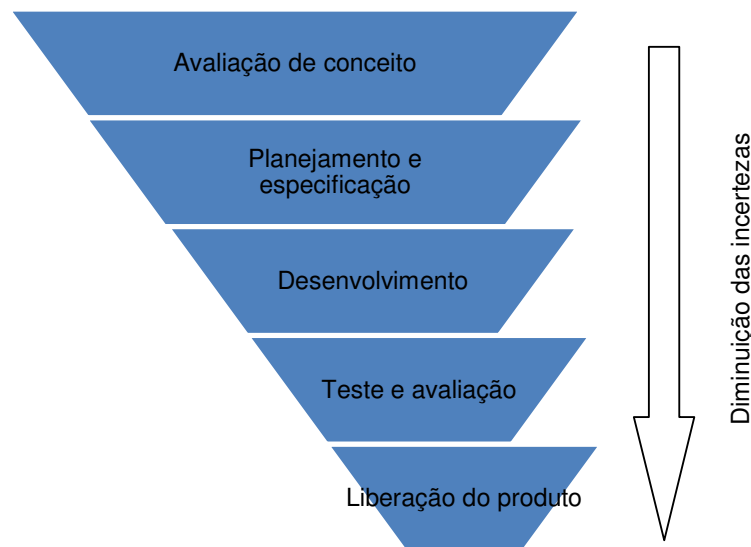


Figura 14 - Processo de Desenvolvimento de Produto

Fonte: autor, com base em Takahashi e Takahashi (2007)

A segunda, proposta por Rozenfeld et al. (2006) para desenvolvimento de produtos de design, ocorre como mostra a figura 15. O processo é composto por três grandes fases: Pré, Desenvolvimento e Pós.

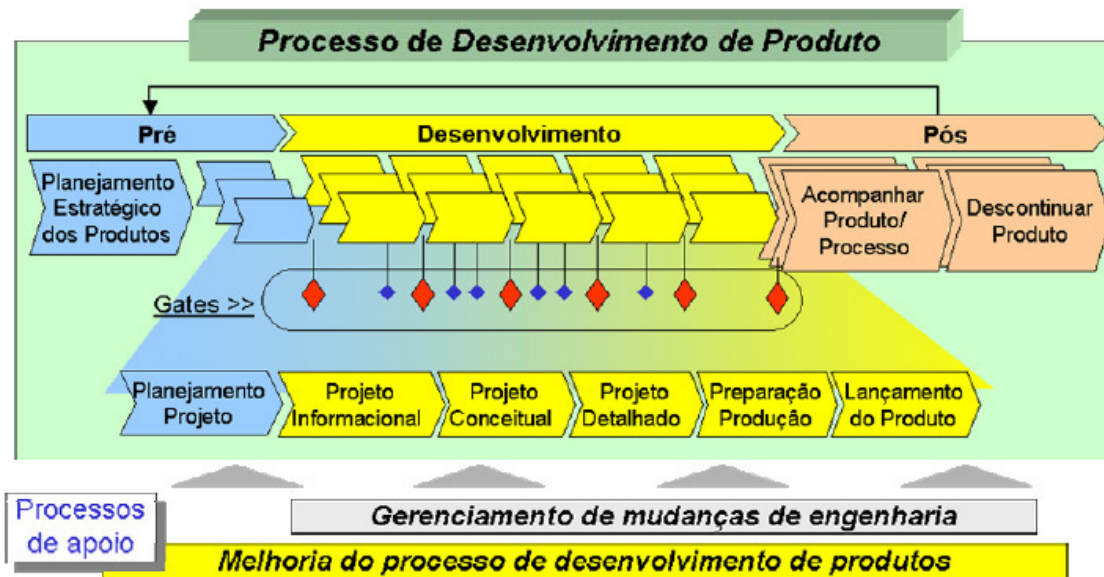


Figura 15 - Processo de Desenvolvimento de Produto

Fonte: Rozenfeld et al. (2006)

Na primeira fase, a de pré-desenvolvimento, também conhecida como planejamento do produto, é definido o produto a ser desenvolvido, isto é, o escopo do projeto de desenvolvimento, avaliação econômica, avaliações de capacidade de risco, definição de indicadores para monitoramento e definição de planos de negócio.

A segunda, de desenvolvimento, comporta um número maior de atividades relacionadas com o projeto do produto e pode ser dividida em cinco etapas. Inicia-se com o projeto informacional, onde é feita a aquisição de informações junto ao cliente (necessidades e desejos); para depois dar início ao projeto conceitual, fase na qual é proposto o conceito a ser adotado pelo produto, uma síntese da estrutura das funções a serem desempenhadas; e na sequência o projeto detalhado, onde se consegue dimensioná-lo, selecionando materiais, formas, componentes, processo de fabricação e montagem; para posteriormente iniciar a preparação da produção; e finalmente a última etapa a de lançamento do produto.

Na última fase, de pós-desenvolvimento, ocorre inicialmente um planejamento de como o produto será acompanhado e retirado do mercado. Definem-se as equipes e os recursos necessários para as alterações de engenharia, visando correções de potenciais falhas e/ou adição de melhorias requisitadas pelos clientes. Definem-se metas de quando o produto deverá ser retirado do mercado. Deve-se

fazer o acompanhamento do produto, a fim de realizar melhorias contínuas até que sejam atingidas as metas estabelecidas durante o PDP e o produto seja descontinuado. Inicia-se então a retirada do produto do mercado e todas as providências em relação ao descarte do material para o meio ambiente devem ser tomadas (ROZENFELD et al., 2006).

A terceira metodologia para desenvolvimento de produtos é proposta por Baxter (1998), chamada de "funil de decisões". Esta metodologia apresenta seis etapas, onde, ao passar das etapas, ocorre a redução progressiva dos riscos, mas percebe-se o aumento o compromisso financeiro (BAXTER, 1998).

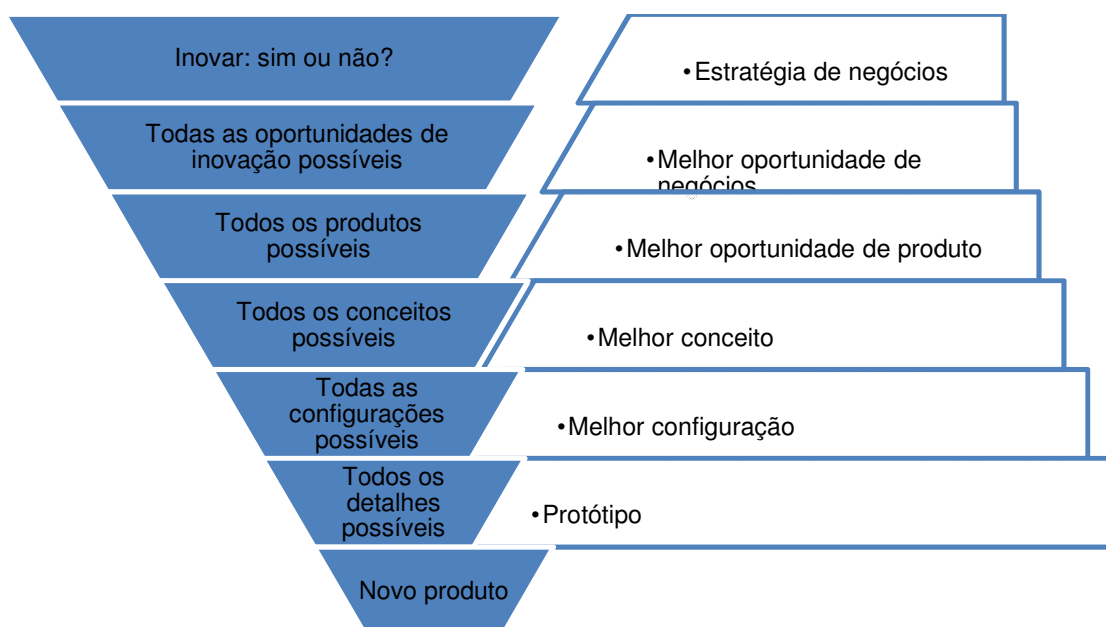


Figura 16: Funil de decisões

Fonte: BAXTER (1998)

Os produtos que começam com uma boa especificação e cujos estágios iniciais de desenvolvimento são bem acompanhados, têm três vezes mais chances de sucesso do que aqueles com especificações vagas ou acompanhamentos iniciais mal feitos (BAXTER, 1998).

Portanto, o processo de desenvolvimento de produtos deve ser bem acompanhado e analisado desde o início. Deve-se identificar o mais breve possível se o desenvolvimento de um produto deve continuar ou se deve se tornar inviável, uma vez que nos estágios iniciais de desenvolvimento, os gastos ainda são relativamente pequenos, a pesquisa ocorreu somente no papel e os trabalhos de projeto consistem em desenhos e modelos baratos.

2.3 BIOMIMÉTICA DIRECIONADA AO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Do grego *bio*, vida e *mimetikos*, imitação, biomimetismo significa imitar a vida, mimetizar a natureza, utilizá-la como modelo, como medida e como mentora (BENYUS, 2009).

A ciência da biomimética surge na década de 1950-60, ao se perceber que caberia aos projetistas - designers, arquitetos e engenheiros -, planejar um mundo mais voltado à sustentabilidade e de forma tecnologicamente orientada (SOARES, 2008).

Contudo, a imitação da natureza não é uma novidade do século XX. Segundo Janine Benyus, presidente do *Biomimicry 3.8*¹², desde os primórdios as pessoas dependeram das lições e exemplos naturais ao seu redor para sua sobrevivência (BIOMIMICRY 3.8, 2014).

A natureza desenvolveu-se durante 3.8 bilhões de anos para organismos adaptados e evoluídos (BIOMIMICRY 3.8, 2014). Sendo assim, segundo Giurea (2014), John et al. (2005) e Soares (2008), ela interage de forma perfeitamente harmoniosa com o meio ambiente, pois:

- a) economiza materiais construtivos devido à funcionalidade, otimização e eficácia;
- b) possui estruturas perfeitamente adaptadas;
- c) apresenta qualidade estética;
- d) suas informações e princípios já passaram pela seleção natural;
- e) não apresenta resíduos;
- f) é a prova do tempo.

(GIUREA, 2014; JOHN et al., 2005; SOARES, 2008).

Então por que não imitá-la no desenvolvimento de produtos, processos ou materiais? Segundo Gruber e Imhof (2007), como a natureza aperfeiçoou seu design durante anos de evolução, imitar suas criações é um meio seguro de produzir tecnologias que sejam eficientes e confiáveis. E apresenta ainda outra vantagem, possui uma "imagem verde" implicada, facilitando o marketing no mercado atual (VANDEVENNE et al., 2011).

¹² Biomimicry 3.8 Institute - Organização sem fins lucrativos que promove o estudo do Biomimetismo, onde 3.8 é o número em bilhões de anos de evolução do universo - biomimicry.net

Historicamente, várias invenções foram inspiradas pela natureza, como o avião e o telefone por exemplo (BIOMIMICRY 3.8, 2014). Na área da arquitetura, alguns de seus exemplos mais marcantes são a Torre Eiffel (com sua estrutura inspirada no fêmur humano) e o Palácio de Cristal (estrutura inspirada nas veias da folha da nenúfar) (JOHN et al., 2005).

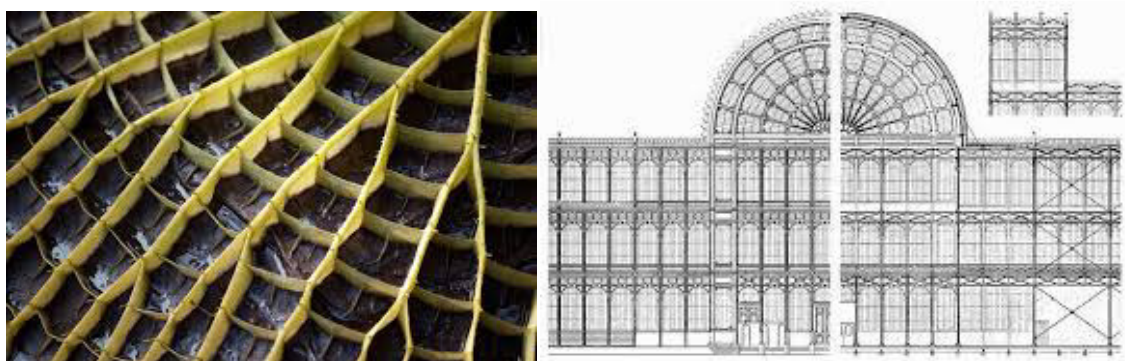


Figura 17 - Estrutura do Palacio de Cristal inspirada na folha da nenúfar

Fonte: <http://principia.io/2015/02/05/el-nenufar-gigante-que-cautivo-a-inglaterra/>

2.3.1 BIOMIMETISMO X INSPIRAÇÃO NA NATUREZA

A ciência da biomimética é onde flora, fauna ou ecossistemas inteiros são emulados como base de design na criação de soluções inovadoras para os problemas humanos e um ambiente construído mais sustentável (EL-ZEINY, 2012; VANDEVENNE et al., 2011).

No entanto, a aplicação efetiva dos conceitos continua muitas vezes não sendo realizada, devido à confusão entre o que seria biomimetismo e a simples inspiração na natureza.

"No *Biomimicry* 3.8, acreditamos que não existe melhor parceiro de design do que a natureza. Mas biomimetismo é mais do que simplesmente olhar a forma de uma flor ou uma libélula e se inspirar; é uma metodologia que está sendo usada por algumas das maiores empresas e mais inovadoras universidades no mundo" (BIOMIMICRY 3.8, 2014, livre tradução).

Portanto, apenas imitar ou se inspirar em formas naturais, texturas ou cores, muito comum em exemplos arquitetônicos ou de design de interiores, não é biomimetizar. Para que seja efetivo, tem que possuir o princípio da biologia, não apenas a aparência (EL-ZEINY, 2012).

Nas figuras 18 e 19 encontram-se dois exemplos arquitetônicos de simples imitação da natureza:



Figura 18 - Casa inspirada na concha do mar, projetada por Senosiain Arquitetos

Fonte: El-Zeiny, 2012

Na figura 18, a casa inspirada pela concha do mar projetada pelos Senosiain Arquitetos, onde seu design depende apenas da imitação das formas, padrões e cores naturais (El-Zeiny, 2012).



Figura 19 - Edifício em formato de célula para o *Institute for Nanobiomedical Technology and Membrane Biology*

Fonte: El-Zeiny, 2012

Outro exemplo é o da figura 19, cujos projetistas tentaram unir a arquitetura à biologia, desenhando o *Institute for Nanobiomedical Technology and Membrane Biology* em Chengdu China, de maneira em que o exterior se parecesse com uma célula e o interior incluísse formas inspiradas na biologia molecular. Novamente,

segundo El-Zeiny (2012), o designer não usou a biologia como uma ferramenta para resolver problemas ou atingir alguma função, simplesmente imitou formas e motivos biológicos, e isso não é biomimetismo.

"Então é necessário que designers e arquitetos entendam que biomimetismo não influencia necessariamente na aparência e estilo de um projeto. Ele pode, mas não tem que, arquitetos e designers deveriam engajar a natureza de forma mais profunda do que simplesmente mimetizar as formas naturais. Eles deveriam ir além das características formais naturais e encorajar pessoas a desenvolver um entendimento mais profundo e responsável da natureza" (EL-ZEINY, 2012, p.505, livre tradução).

2.3.2 BIOMIMETISMO NO DESIGN DE PRODUTOS

A "biomimética é a abstração do bom design feito pela natureza" (JOHN et al., 2005, p. 319, livre tradução). Ela responde com princípios físicos relativamente simples, então pode e deve servir de modelo e inspiração para inovação no design de produtos e de interiores. Como já afirmava Leonardo da Vinci, "a sutileza humana nunca conceberá uma invenção mais bela, mais simples ou mais direta do que a natureza, pois nas suas invenções nada falta, e nada é supérfluo" (SANTOS, 2009).

Apesar de estar ainda em estágio embrionário, o desenvolvimento do biomimetismo no design de produtos apresenta alguns exemplos aplicados nas últimas décadas, como células solares inspiradas em folhas; fibras de aço tecidas com estilo aranha; cerâmicas a prova de estilhaçamento guiadas a partir da madrepérola; e outros (REDDI, 2012). No portal de pesquisa *Asknature*, encontram-se outros estudos de caso aplicados como: vidros imitando teias de aranha para prevenção de colisão de pássaros, cola para madeira sem formaldeído utilizando a química azul do marisco, e outros (ASKNATURE, 2015).

Um grande exemplo na área do design automotivo é o conceito do carro da Mercedes-Benz imitando a aerodinâmica do peixe-cofre, representado na figura 20 (HOELLER, 2010; PAWLYN, 2011).

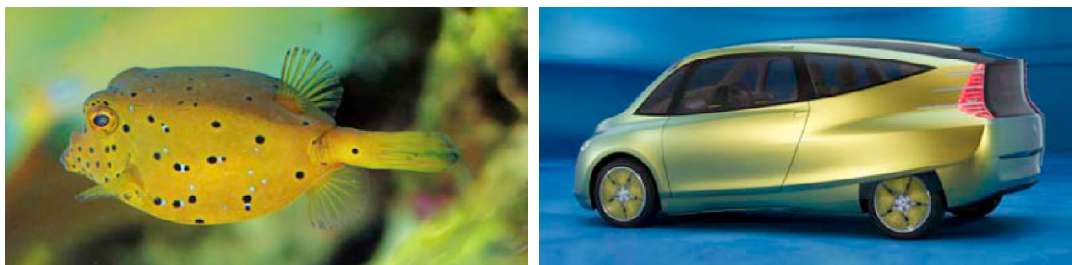


Figura 20 - Peixe cofre e carro Mercedes inspirado nele

Fonte: Pawlyn, 2011

A área de moda também está investindo no ramo da biomimética, como exemplo tem-se os maiôs olímpicos, que são inspirados na pele do tubarão. Na área do design de interiores, El-Zeiny (2012) expõe alguns exemplos de aplicação. Um deles é o carpet *Entropy*, da figura 21, desenvolvido inspirado nas folhas caídas ou pedriscos a beira do rio. Como a natureza apresenta padrões aleatórios no chão da floresta, percebeu-se a vantagem em desenvolver um padrão aleatório de carpet, que alcançaria vantagens ambientais em comparação aos outros produtos por ser de mais fácil substituição (não necessitar de combinação perfeita), possuir menos descartes, e ser de mais fácil instalação (em qualquer sentido), além da redução de desperdício (EL-ZEINY, 2012).

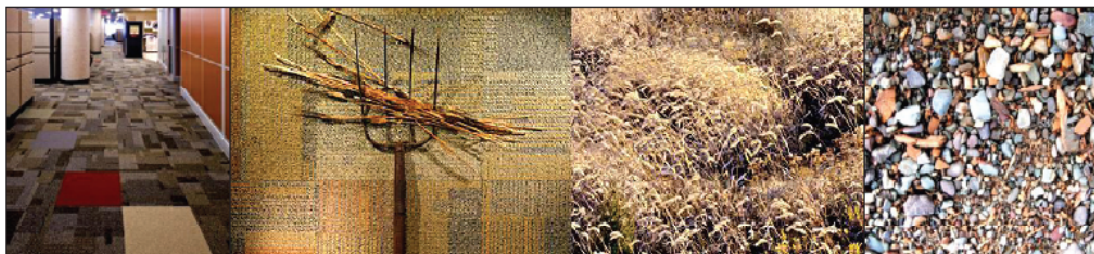


Figura 21 – Piso *Entropy*, imitando os padrões aleatórios no chão da floresta

Fonte: El-Zeiny, 2012

Os materiais naturais, por requererem menos processamento, possuem menos energia e toxinas incorporadas do que aqueles feitos pelo homem, portanto são menos causadores de danos ao meio ambiente (JOHN et al., 2005); apresentam características de sustentabilidade, eficiência energética, zero emissões, recursos renováveis, reciclagem e reutilização (REDDI, 2012).

Pesquisadores da Universidade de Illinois¹³ desenvolveram um exemplo de material inspirado em sistemas biológicos, em que danos na estrutura acionam um

¹³ <https://www.uillinois.edu/>

sistema automático de resposta de reparo: um material sintético que consegue se reparar automaticamente quando quebrado ou trincado, aumentando a sua vida útil em duas ou três vezes (JOHN et al., 2005).

2.3.3 MÉTODO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS BIOMIMÉTICOS

O método da aplicação da biomimetização é realizado de duas maneiras distintas, segundo Pandremenos et al. (2012) e demonstrado pela figura 22. A primeira forma seria da biologia para o design, onde um fenômeno biológico promove uma solução de design, ou seja, uma técnica baseada na solução; ou ainda do design para a biologia, onde o inovador inicia a pesquisa com um problema humano, e depois revisa quais e como os organismos estão atingindo àquele objetivo, ou seja, uma técnica baseada no problema (EL-ZEINY, 2012; PANDREMENOS et al., 2012).

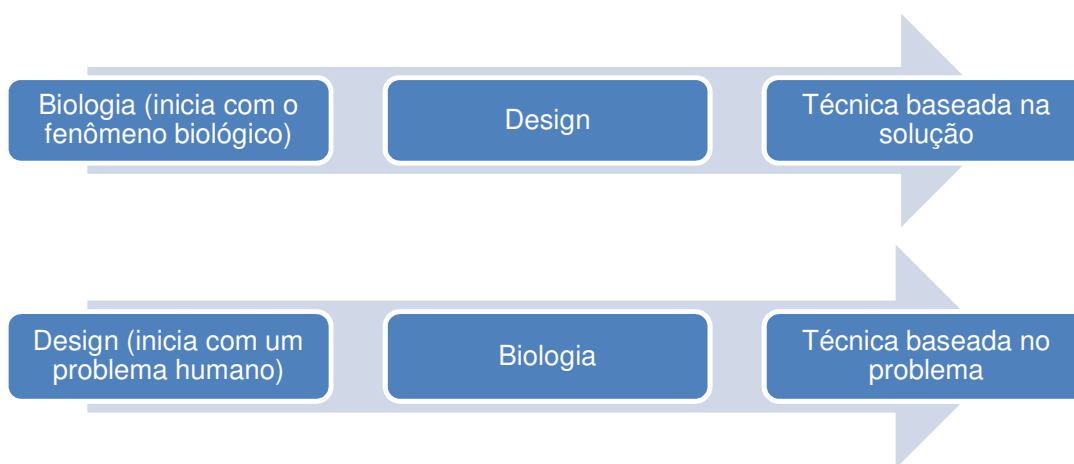


Figura 22 – Maneiras de aplicação da biomimetização

Fonte: autor, com base em Padremenos et al. (2012)

Portanto, para solucionar os diversos problemas do ambiente construído, parte-se da solução design para a biologia, a técnica baseada no problema, e, na criação de produtos biomiméticos deve-se seguir três passos conforme mostra a figura 23, segundo Faludi (2005):

a) Definir o problema e o seu contexto;

- b) Encontrar organismos com o mesmo problema e contexto. Avaliar o que fazem. Encontrar diversos exemplos e analisar qual apresenta a melhor e mais relevante estratégia;
- c) Transformar a melhor estratégia em algo construtível. Se necessário, encontrar um *expert* para auxiliar.

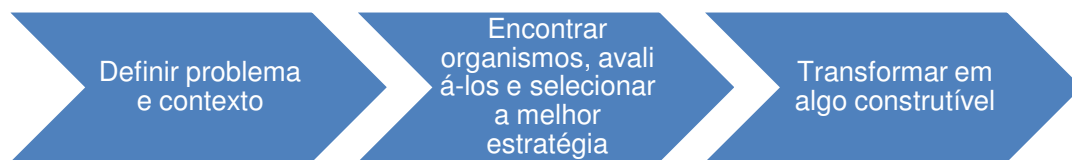


Figura 23 - Metodologia da biomimética segundo Faludi (2005)

Fonte: autor, baseado em Faludi (2005)

Outra metodologia que pode ser utilizada para aplicação da biomimética é a *Biocard Method*, representada pela figura 24, que foi desenvolvida na *Technical University of Denmark* (DESIGN INSITE, 2014). Ela subdivide a anterior em mais fases, sendo elas:

- a) Definição do problema
- b) Pesquisa das estratégias e princípios
- c) Análise das estratégias e princípios
- d) Extração das estratégias e princípios
- e) Fase de design

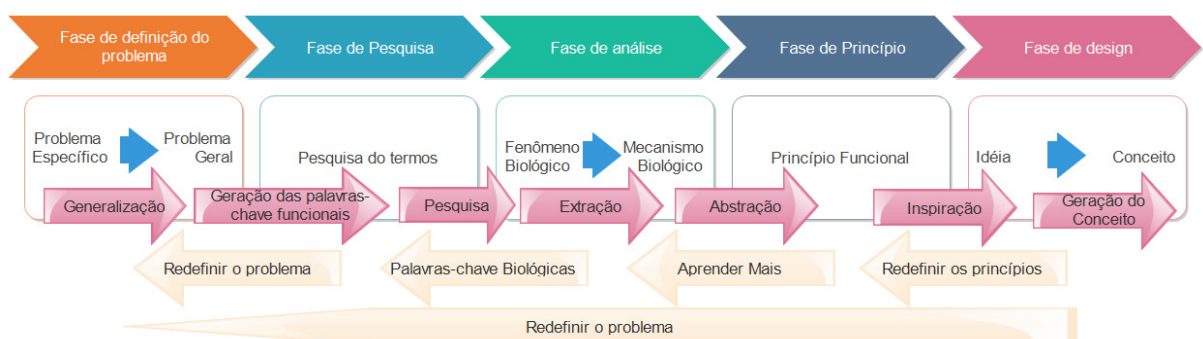


Figura 24 - O método Biocard - BID Method

Fonte: autor, adaptado de Design Insite, livre tradução (2014)

O Núcleo de design e seleção de materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul desenvolve ainda uma metodologia mais subdividida, representada pela figura 25 (KINDLEIN e GUANABARA, 2005).

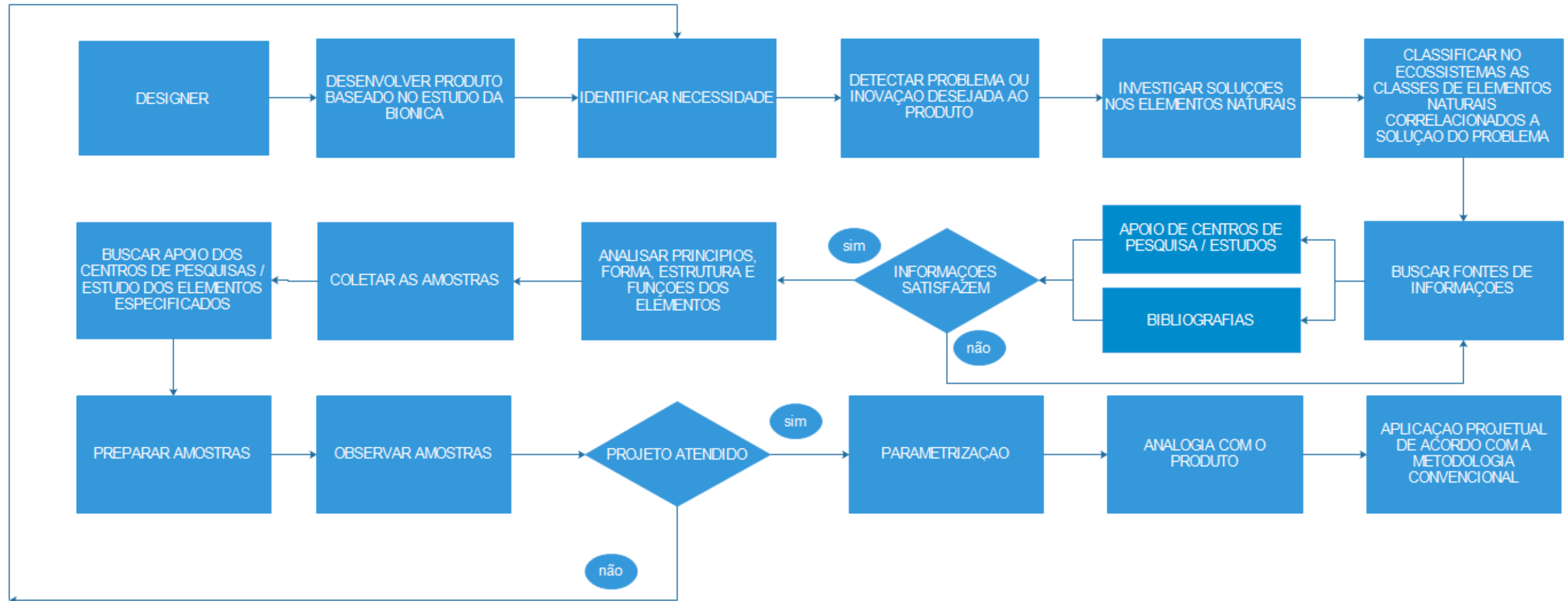


Figura 25 - Adaptação da metodologia proposta pelo NdSM (Núcleo de Design e Seleção de Materiais) da UFRGS para o desenvolvimento de produtos baseados em estudos de biônica

Fonte: autor, adaptado de Kindlein e Guanabara (2005)

Todas as metodologias descritas apresentam como essência a mesma linearidade e sequência de fases, sendo a primeira mais abrangente, a segunda mais subdividida, mas com o mesmo caminho e a terceira mais subdividida ainda. Isto comprova a real eficiência das metodologias como um todo.

Para definição de quais características mimetizar de um organismo natural, El-Zeiny (2012) apresenta o quadro 08. Podendo ser: do próprio organismo - como forma, cor, movimento; através de suas relações com a comunidade - como interação com outros organismos ou administração e técnicas de sobrevivência; ou suas relações com o bioma em que vive - como camuflagem, refrigeração.

Quadro 08 - Níveis das principais características mimetizáveis

Níveis de biomimetismo	Aspectos do nível
Recursos do organismo	Forma, cor, volumetria, transparência e ritmo Estrutura, estabilidade e resistência à gravidade Mutação, crescimento e ciclo de vida Função e comportamento Movimento e aerodinâmica Automontagem Homeostase (equilíbrio) Sistemas orgânicos, digestivos, circulatórios, respiratórios, sustentação, musculares, nervosos, excretores, sensoriais e de locomoção
Relação do organismo com a comunidade	Técnicas de sobrevivência Interação com outras criaturas Transferência de conhecimento e treinamento Hierarquia dos membros Administração e coordenação do grupo
Relação do organismo com o ambiente e bioma	Resposta ao clima por refrigeração, calefação e ventilação Resposta por camuflagem, autoproteção e autolimpeza Adaptação a diferentes níveis de luz, som, sombra Construção de abrigo Adaptação à limitada oferta de recursos Administração de resíduos

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em El-Zeiny, 2012 (livre tradução).

2.3.4 PRINCÍPIOS NATURAIS TERMORREGULADORES DO *ASKNATURE*

O objetivo deste tópico é encontrar na natureza como, e através de quais princípios, os sistemas biológicos alcançam sua termorregulação para tentativa da posterior mimetização nos sistemas humanos.

O problema é que, segundo Vandevenne et al. (2011) e Deldin e Schuknecht (2014), nesta comunicação entre biologia e design, os termos técnicos e *keywords* utilizados são diferentes. Sendo assim, muitas vezes o conhecimento de uma das áreas não é encontrado pelos pesquisadores e profissionais da outra. Um outro dificultador é que existem milhões de espécies na natureza.

Então, para uma limitação da área de estudo, estuda-se apenas as estratégias listadas no portal *Asknature*, que foi criado com esta intenção biologia / engenharia e fundamenta seus exemplos com publicações em livros ou artigos científicos, amparando de forma útil e prática os designers na procura por bio-inspiração (VANDEVENNE et al., 2011; DELDIN; SCHUKNEHCT, 2014).

No portal há várias coleções de estratégias mimetizáveis - em setembro de 2015 apresentava 1675 estratégias -, mas, na busca de exemplos de termorregulação que podem servir de inspiração para as edificações, as que interessam nesta pesquisa são as coleções de função: "mantendo-se quente no frio" e "esfriando no calor" (ASKNATURE, 2015, livre tradução).

A primeira apresenta estratégias de plantas e animais que utilizam diversos princípios para regular sua temperatura e se manter quente, através da sua pele ou penas, das estruturas vasculares, da formação de grupos, ou outros. A segunda apresenta estratégias para regular sua temperatura e se manter frio mesmo no calor intenso. Então, imitar estas estratégias em designs feitos pelo homem, poderia ajudar a encontrar novas soluções para manter, de forma natural, a temperatura estável e conservar energia ao mesmo tempo (ASKNATURE, 2014).

2.3.4.1 COLEÇÃO "MANTENDO-SE QUENTE NO FRIO"

Os princípios biológicos do portal de pesquisas *Asknature*, com as suas estratégias funcionais para a coleção "se manter quente no frio" são apresentadas e podem ser visualizadas a seguir:

- Numbat: apresenta sua pelagem curta e esparsa, adaptada para termorregulação, favorecendo a passiva perda de calor no verão e o ganho de calor por radiação no inverno.
- Rena: sua densa camada de pele o isola contra o frio polar.
- Urso polar: o seu pelo o isola do frio devido à sua baixa emissividade em infravermelho.

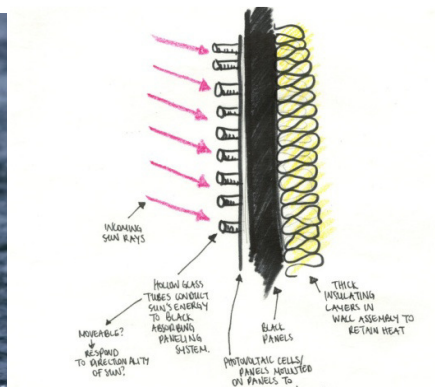


Figura 26 - Urso polar

Fonte: Asknature (2015)

- Pinguim gentoo: as penas do pinguim não deixam a água penetrar na sua pele devido à sua rígida e extremamente densa estrutura.
- Ovelha Merino: a sua lã forma uma camada isolante com a camada abaixo devido às centenas de bolsões de ar que se formam.



Figura 27 - Ovelha Merino

Fonte: Asknature (2015)

- Tartaruga-de-couro marinha: sistema vascular da traqueia ajuda a manter a temperatura corporal.
- Tipo de morcego brasileiro: arranjo do sistema de artérias e veias cria janelas térmicas.

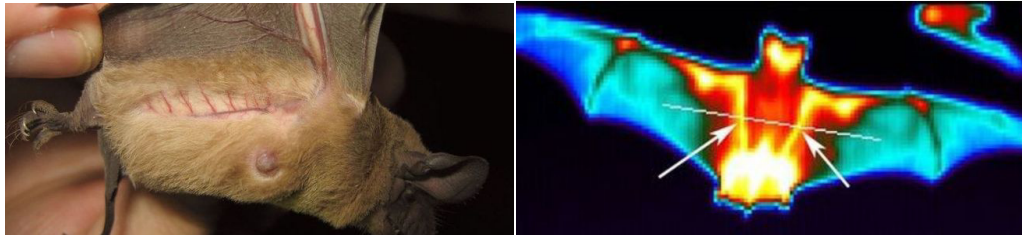


Figura 28 - Morcego e seu sistema circulatório

Fonte: Asknature (2015)

- Jacaré: a pele do jacaré regula sua troca de calor através do aumento da circulação sanguínea.
- Elefante africano: regula sua temperatura através de manchas na sua pele que são altamente vascularizadas.
- Tucano-toco: seu bico funciona como um trocador de calor para regular a temperatura corporal através do ajuste do fluxo sanguíneo.
- Atum-gaiado: apresenta uma barreira térmica entre o sangue venoso e as guelras, não deixando o calor ser dissipado como a maioria dos peixes.
- Golfinho Tursiops ou golfinho nariz-de-garrafa: gordura absorve o calor, agindo como material de mudança de fase.
- Plantas do gênero *Lysichiton*: possuem um termostato interno que regula sua temperatura.
- Plantas 'cushion' (crescem de forma amontoadas e lentas, são baixas, parecendo uma pequena almofada): seus caules extremamente juntos promovem o isolamento contra o frio.
- Tipo de formiga formica rufa: calor do corpo do grupo em coletividade esquenta seu ninho.
- Pinguim imperador: suas penas, por serem filamentosas, prendem o ar, formando uma camada contínua ao redor do corpo, retendo o calor; economizam energia e se protegem do frio durante a incubação devido ao amontoamento social.

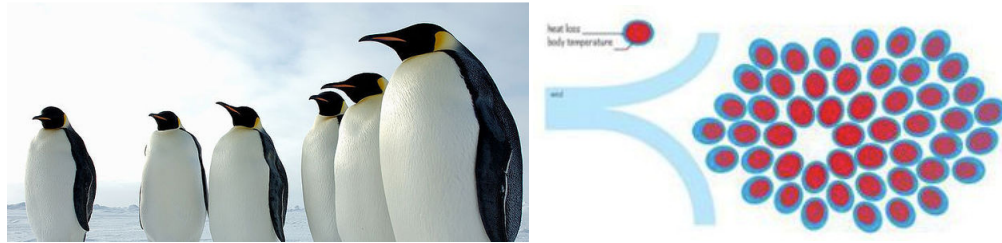


Figura 29 - Pinguim Imperador

Fonte: Asknature (2015)

- Tipo de esquilo: células de gordura geram calor rapidamente depois da hibernação pela oxidação da gordura.
- Abelhas de mel: através de vibrações torácicas, geram calor (ASKNATURE, 2015, livre tradução).

2.3.4.2 COLEÇÃO "ESFRIANDO NO CALOR"

A coleção "esfriando no calor" apresenta as seguintes soluções biológicas:

- Árvore *Aloe dichotoma*: os ramos da árvore são protegidos do calor do sol por um pó branco que serve como uma cobertura refletiva.



Figura 30 - Árvore *Aloe dichotoma*

Fonte: Asknature (2015)

- Cascas das árvores: a superfície e o material das cascas das árvores mantém a temperatura estável através da minimização da absorção da luz solar e da maximização da emissão térmica.
- Caracol do deserto: a concha de alguns caracóis do deserto ajuda a sobreviver ao calor extremo devido à sua alta reflexão dos raios solares e da

sua arquitetura, uma vez que apresenta camadas de ar que fazem um isolamento natural.

- Gazela-de-thomson: uma espécie de gazela que se utiliza da circulação sanguínea cerebral para manter o cérebro frio quando está fugindo de seus predadores.



Figura 31 - Gazela-de-thomson

Fonte: Asknature (2015)

- Elefante africano: a mesma forma que se utiliza para se manter quente no frio, utiliza para esfriar no calor: regular sua temperatura através de manchas na pele, que são altamente vascularizadas.
- Cangurus-vermelhos: estes animais lambem suas patas dianteiras para facilitar a perda de calor por evaporação, uma vez que possuem uma rede especial de vasos sanguíneos superficiais.
- Tucano-toco: a mesma forma que utiliza para se manter quente no frio, utiliza para esfriar no calor: seu bico funciona como um trocador de calor para regular a temperatura corporal através do ajuste do fluxo sanguíneo.
- Coelhos do deserto: suas grandes orelhas são utilizadas para refrigeração, irradiando calor por meio de uma extensa rede de vasos sanguíneos.
- Estrela-do-mar *Pisaster ochraceus*: na maré alta o corpo da estrela do mar armazena água fria para ajudar na variação térmica que ocorrerá na maré baixa com a exposição ao sol.



Figura 32 - Estrela-do-mar *Pisaster ochraceus*

Fonte: Asknature (2015)

- *Euphorbias*: o caule destas plantas as protege do calor e da seca através de sua superfície dura e cerosa. Da mesma forma que os cactos, estas plantas armazenam água em seu tronco.
- Cacto mesclal *Lophophora williamsii*: este tipo de cacto utiliza uma tática de adaptação à disponibilidade de água sazonal, o encolhimento abaixo do chão do deserto induzido pela desidratação; e o ressurgimento após a primeira chuva pela hidratação. Assim, se protege abaixo do chão das altas temperaturas letais.



Figura 33 - Cacto mesclal *Lophophora williamsii*

Fonte: Asknature (2015)

- Árvores de sombra: os maiores efeitos de árvores para resfriamento pelas sombras são influenciados pela densidade, espessura, textura, brilho e cor da folhagem.
- Cacto: se mantém frio através da sua estrutura, possui 'filetes' que projetam sombra em si mesmo e aumentam a radiação de calor.

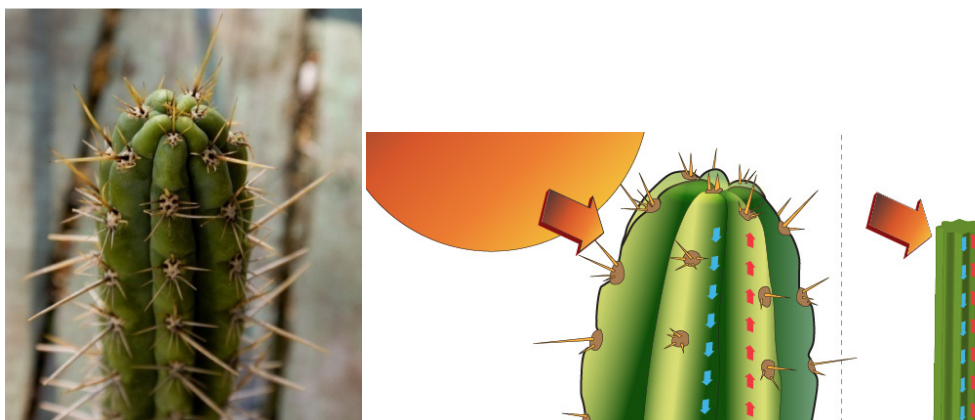


Figura 34 - Cacto

Fonte: Asknature (2015)

- Tenrecídeos: mamíferos insetívoros que sobrevivem ao clima quente do verão por entrar num estado de dormência chamado de estivação (parecido com hibernação).
- Mamíferos: utilizam suas glândulas sudoríparas para ajudar na termorregulação através da evaporação.
- Abelhas: esfriam a colmeia através da colheita de água, espalhando-a e ventilando-a para aumento da evaporação.
- Aves *caprimulgidae*: dissipam o calor intenso através da vibração gular que funciona como uma estratégia de esfriamento evaporativo.
- Hipopótamo: a sua secreção protege a pele do sol e das bactérias, devido a pigmentos que absorvem a luz ultravioleta (UV) e têm propriedades antibióticas.



Figura 35 - Hipopótamo

Fonte: Asknature (2015)

- Carrapato: alguns tipos de carrapatos absorvem o vapor de água de atmosfera através da secreção de uma solução hidrófila secretada pela sua boca.
- Cão-da-pradaria: as suas tocas são feitas e calculadas de modo que causem uma baixa pressão de ar que suga o ar parado para fora da toca, criando uma ventilação constante.

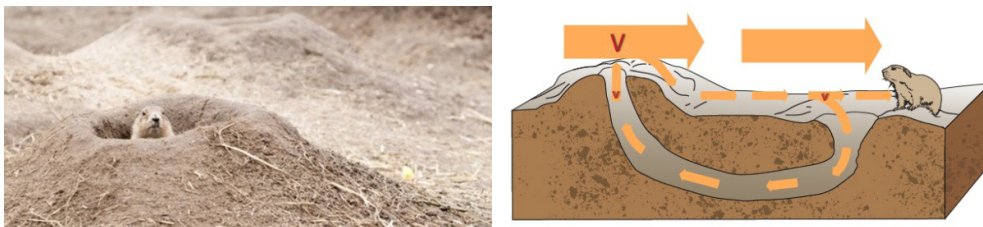


Figura 36 - Cão-da-pradaria

Fonte: Asknature (2015)

- Cupins: a estrutura interna (através de túneis) dos montes acima dos ninhos subterrâneos de cupins facilita as trocas de gases por meio do aproveitamento da energia eólica externa (REDDI, 2012) (ASKNATURE, 2015, livre tradução).

2.3.5 ALGUNS EXEMPLOS BIOMIMÉTICOS APLICADOS NO AMBIENTE CONSTRUÍDO PARA TERMORREGULAÇÃO

Este tópico pretende demonstrar, através de alguns exemplos funcionais e fundamentados, a real aplicação, realizada com este objetivo, do biomimetismo no ambiente construído com a finalidade de regulação térmica e eficiência energética.

- Inspiração na ventilação dos cupins

Eastgate building em Zimbábue (clima temperado) - 1996

O prédio, que funciona como shopping center e um edifício de escritórios, possui sua ventilação natural e sistema de ar condicionado adaptados. Mick Pearce, arquiteto do edifício, estudou as chaminés e túneis dentro dos ninhos de cupins. Estes, através de sua estrutura física que possibilita o fluxo passivo de ar, mantêm a variação de temperatura dentro do ninho em 1°C, enquanto externamente, a variação é de até 42°C. Dentro do ninho, assim que o vento sopra, o ar quente das câmaras abaixo do solo é jogado para fora da estrutura através dos túneis que são abertos ou bloqueados pelos cupins para controlar o fluxo de ar. Pearce aplicou as mesmas lições no projeto do prédio, resultando em uma utilização de 90% menos energia para resfriamento e calefação do que os edifícios tradicionais. O prédio possui largas chaminés que, naturalmente, retêm o ar frio à noite para baixar a temperatura das lajes durante o dia, reduzindo a necessidade de ar condicionado suplementar (MNN, 2014; BIOMIMICRY, 2014; ASKNATURE, 2015, livre tradução).



Figura 37 - Edificação inspirada no cupinzeiro

Fonte: Biomimicry, 2014

- Inspiração em organismos que utilizam mudança de fase - evaporação da água

Council House II Building em Melbourne, Austrália (clima temperado) - 2006

Um edifício de escritórios projetado também pelo arquiteto Mick Pearce e desenvolvido não apenas para conservar energia e água, mas melhorar o conforto ambiental interno para seus ocupantes. O edifício utiliza diversas estratégias como convecção natural, massa térmica, material de mudança de fase, água para resfriamento. O edifício expelle o calor excessivo através da canalização de líquido frio em feixes no teto para resfriamento durante a parte mais quente do dia. O prédio conta também com o sistema denominado "torres de chuveiro" na fachada sul, no qual a água é jogada para baixo na fachada, que evapora com o calor e assim resfria o ar aspirado para dentro da edificação (MCKEAG, 2014, livre tradução).



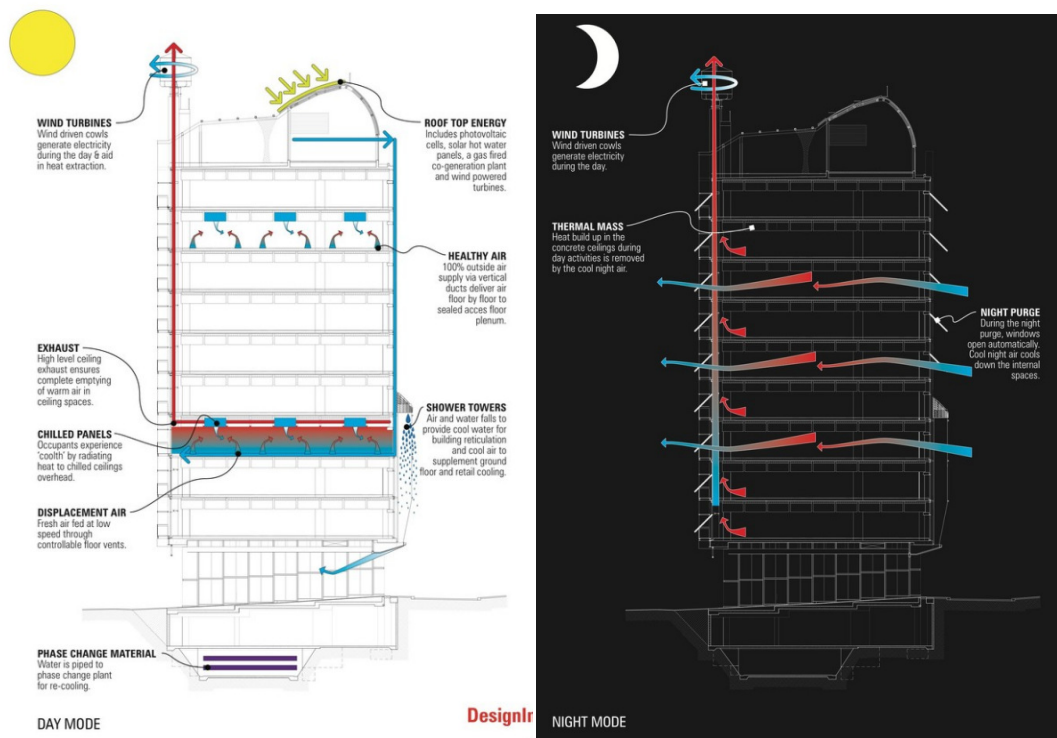


Figura 38 - Council House II Building

Fonte: Mckeag (2014)

Pearl River Tower em Guangzhou, China (clima sub tropical úmido) - 2012

Um arranha-céu de ambientes corporativos desenhado pelos escritórios Skidmore, Owings and Merrill e os arquitetos Adrian Smith e Gordon Gill. Afirma-se que este edifício chegou a ser o arranha-céu mais energeticamente eficiente do mundo, devido a vários sistemas. Um deles é o seu resfriamento executado da mesma maneira do *Council House II*, por meio de feixes de líquido frio no teto. Outro sistema é a manipulação da ventilação natural pelo edifício, em que aberturas na fachada afunilam o ar, ocasionando o efeito Venturi, que gera energia para várias turbinas. Estas turbinas promovem a autogeração de energia para a edificação (MCKEAG, 2014, livre tradução).



Figura 39 - *Pearl River Tower*

Fonte: Mckeag (2014)

2.4 OPORTUNIDADE DA PESQUISA

A ciência da biomimética é aplicada no design do ambiente construído, mas ainda com uma extensão bastante limitada, muitas vezes recaindo no estudo das mesmas soluções biológicas, como exemplo o ninho de cupins. Entretanto, pode apresentar uma infinita possibilidade de inspiração, para mimetização na criação de produtos, materiais ou tecnologias (MCKEAG, 2014).

Nos exemplos apresentados no capítulo anterior, percebe-se a real eficiência e eficácia destas aplicações para a sustentabilidade de modo geral, na redução do consumo de energia, de poluições geradas e dos impactos ambientais como um todo.

Conforme Camargo e Pelegrini (2014) apontam, as pesquisas neste ramo, embora em crescimento, precisam ser ampliadas para responder melhor às questões de sustentabilidade mundial. O que se percebe ao pesquisar o assunto, é a existência de poucos estudos de caso possíveis de serem analisados (MCKEAG, 2014; FALUDI, 2005).

Segundo Vandevenne et al. (2011) e Detanico et al. (2010), ainda não há uma ferramenta ideal para sistematização deste processo de biomimetização, o que facilitaria muito o desenvolvimento de produtos e sistemas com este objetivo. Segundo os autores, há o problema de design, mas não ainda onde se possa recolher informações de forma sistemática do mundo natural. Atualmente, as soluções biomiméticas são resolvidas quase que de forma espontânea e especulativa, ou são resolvidas por uma detalhada solução biológica, mas segundo Vandevenne et al. (2011), poderiam ser resolvidas por um somatório de soluções mais conceituais.

Na análise da Revisão de Literatura, outro ponto visualizado é a não existência de trabalhos relacionando os vários princípios que podem ser encontrados na natureza aos sistemas de certificação ambiental para edificações, que por missão tentam garantir que um empreendimento seja considerado sustentável. Então, uma maneira possível de sistematizar o processo seria através do desenvolvimento de uma ferramenta que relacione dois dos principais sistemas de certificação mais utilizados no Brasil, o LEED e o AQUA-HQE aos princípios naturais.

Esta ferramenta permite uma análise e utilização por pessoas e profissionais das diversas áreas de conhecimento. A ferramenta, mesmo ainda de forma incipiente, pode contribuir para o desenvolvimento de novas soluções de design no campo da sustentabilidade das construções, através da orientação no processo de desenvolvimento de sistemas, que possam vir a atender de uma melhor forma um ambiente construído mais sustentável e eficiente energeticamente.

3 METODOLOGIA

Uma pesquisa pode ser caracterizada e classificada de acordo com alguns quesitos e seguindo diferentes autores. Para a classificação metodológica deste estudo foi trabalhado com Marconi e Lakatos (2003), Prodanov e Freitas (2013) e Gil (2002).

A pesquisa foi executada seguindo etapas ou fases, com procedimentos para a coleta de dados necessários, além da definição de como seriam analisados os dados obtidos.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Neste trabalho trabalhou-se com Prodanov e Freitas (2013) para classificá-la, apresentando o resultado na figura 40.

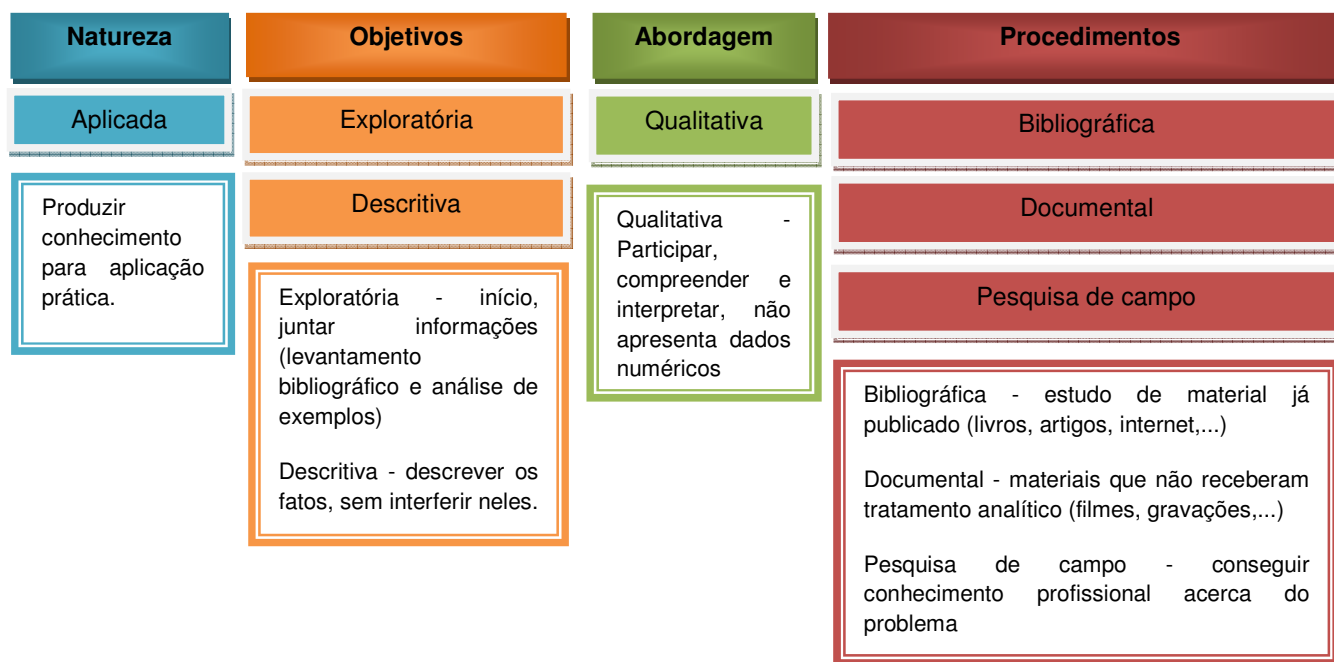


Figura 40 – Classificação da pesquisa baseada em Prodanov e Freitas (2013).

Fonte: autor

Conforme visualizado na figura 40, a pesquisa pode ser classificada segundo alguns critérios. De acordo com a sua natureza, por produzir conhecimento direcionado à aplicação prática, é considerada aplicada. No quesito abordagem possui uma classificação qualitativa, uma vez que, compreende e interpreta fatos, mas não apresenta dados numéricos.

Em relação aos seus objetivos, é considerada exploratória, familiarizando inicialmente o autor ao tema; e descritiva, onde o pesquisador narra os fatos sem interferir neles. Para a realização da pesquisa, os procedimentos iniciais adotados foram pesquisas documental e bibliográfica, através do estudo de livros, teses e artigos, e ainda internet, com exemplos de animais e vegetais com estratégias termorreguladoras ou sistemas de certificação ambiental utilizados.

Após a conclusão da primeira fase, foi possível fazer uma análise sintética dos resultados iniciais, propondo, como resultado principal, a formatação de uma ferramenta que relaciona estratégias da natureza e sistemas de certificação ambiental. Na sequência foi demonstrado o uso desta ferramenta e neste momento, aplicou-se o procedimento de pesquisa de campo para análise e absorção de conhecimento específico de profissionais das áreas envolvidas para validação da proposta, resultando na Ferramenta de Solução Biomimética (FSB). Todos os processos serão descritos e explicados nas diferentes etapas da pesquisa.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

A pesquisa foi dividida em três grandes etapas, representadas na figura 41 e detalhadas a seguir.



Figura 41 - Etapas da pesquisa

Fonte: autor

3.2.1 ETAPA: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E DOCUMENTAL

A fase inicial desta pesquisa foi a Revisão de Literatura que de acordo com Prodanov e Freitas (2013) é onde deve-se "responder às seguintes questões: quem já escreveu e o que já foi publicado sobre o assunto, que aspectos já foram abordados, quais as lacunas existentes na literatura". (PRODANOV; FREITAS, 2013, p. 78). Esta fase pretende demonstrar o "estado da arte" nos temas relacionados.

Nesta pesquisa, viu-se a necessidade de fazer, além da pesquisa bibliográfica, a documental, para uma maior abrangência na Revisão de Literatura. Segundo Gil (2002), uma pesquisa documental ocorre quando a fonte de coleta de dados é realizada em documentos que não receberam tratamento analítico, podendo ser "de primeira mão", como fotografias e gravações; ou "de segunda mão", documentos que de alguma forma já foram analisados, como relatórios de pesquisa ou tabelas estatísticas. Nesta pesquisa foram utilizados, como exemplo, conceitos e produtos existentes inspirados na natureza e encontrados na internet em portais de pesquisa.

A pesquisa bibliográfica abrange toda a bibliografia já tornada pública, como jornais, revistas, livros, pesquisas, teses, etc., até meios de comunicação oral: rádio, gravações, filmes e televisão. Toda pesquisa deve passar por uma pesquisa bibliográfica, que pode ser sistemática ou não (MARCONI; LAKATOS, 2003). Para este estudo, foram analisados, além de artigos, dissertações, teses e livros, exemplos biomiméticos ou de estratégias da natureza publicados na internet nos portais referências na área como o *Asknature* e o *Biomimicry 3.8*.

Como metodologia de execução do levantamento bibliográfico foi utilizado como base Conforto et al. (2011) sobre Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS), que significa, segundo os autores, "um método científico para busca e análise de artigos de uma determinada área da ciência".

A figura 42 mostra quais foram os grandes assuntos abordados na primeira fase de pesquisa, onde foi realizado o levantamento bibliográfico e documental.

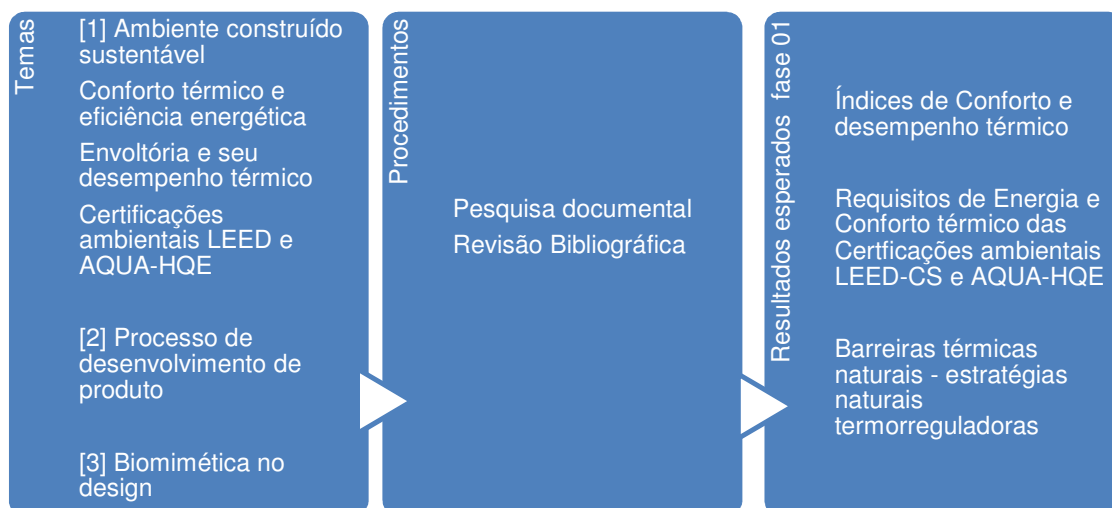


Figura 42 - Organização da Etapa 01 da pesquisa

Fonte: autor

3.2.2 ETAPA: PROCEDIMENTO ANALÍTICO-SINTÉTICO - FORMATAÇÃO DA ESTRUTURA DA FERRAMENTA

Na segunda etapa de pesquisa, com a revisão de literatura concluída, foi feita uma análise sintética sobre todos os resultados, possibilitando o desenvolvimento da formatação base da ferramenta, que relaciona as estratégias naturais termorreguladoras aos requisitos de energia e conforto térmico dos sistemas de certificação ambiental LEED-CS e AQUA-HQE, conforme ilustrado na figura 43.



Figura 43 - Organização da Etapa 02 da pesquisa

Fonte: autor

3.2.3 ETAPA: PESQUISA DE CAMPO - VERSÃO FINAL DA FERRAMENTA

A terceira etapa compreendeu primeiramente uma pesquisa de campo realizada através da análise da ferramenta e do seu uso por profissionais e pesquisadores das diversas áreas envolvidas, para posterior validação e, se necessário, alteração da mesma para que possua mais credibilidade. O esquema da terceira fase pode ser visualizado na figura 44.

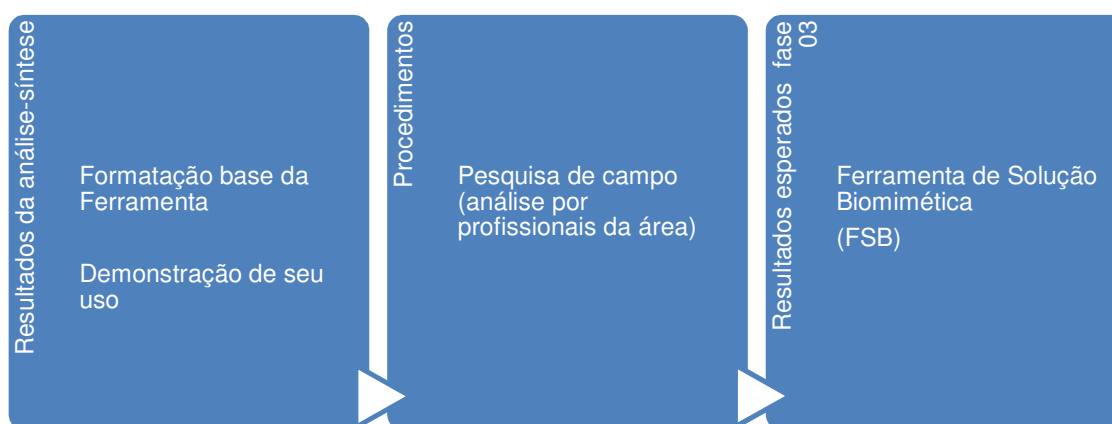


Figura 44 - Organização da Etapa 03 da pesquisa

Fonte: autor

3.3 COLETA DE DADOS

A coleta de dados objetiva obter informações da realidade, segundo Prodanov e Freitas (2013). A revisão de literatura, primeira fase desta pesquisa, exige uma sistematização da coleta dos dados para que possa ser replicada futuramente, tenha bases científicas e seja de maior confiabilidade.

Como mencionado anteriormente, para a Fundamentação Teórica (ou Revisão de Literatura), foram realizados dois procedimentos distintos, uma revisão bibliográfica e uma pesquisa documental. Ambas são executadas primeiramente de forma exploratória sobre os assuntos gerais e posteriormente de forma mais sistemática, utilizando como referência Conforto et al. (2011) sobre Revisão Bibliográfica Sistemática (RBS). Segundo os autores, uma RBS é um método

científico para busca e análise de artigos, e, como para esta execução são necessárias diversas fontes de dados, a revisão bibliográfica concluída neste trabalho não é uma RBS propriamente dita, é apenas baseada na mesma.

Conforto et al. (2011) apresentam um roteiro, chamado de RBS *Roadmap* para a execução de uma RBS na área de gerenciamento de projetos e desenvolvimento de produtos. Segundo os autores, ela é constituída de três fases: Entrada, Processamento e Saída.

Na fase de entrada é definido qual é o problema a ser resolvido; os objetivos da pesquisa; as fontes primárias; os *strings* de busca; os critérios de inclusão e de qualificação; os métodos e ferramentas; e definido o cronograma.

Após conclusão da fase de entrada, inicia-se a fase de processamento dos trabalhos encontrados. Executa-se a filtragem dos artigos em sequência, onde o primeiro filtro refere-se a leitura de títulos, resumos e palavras-chave; apenas o material aprovado é submetido ao segundo filtro, que envolve a leitura de introdução e conclusão; e por último, é executado o terceiro, a leitura total dos textos.

Como saída, na última fase, são feitos os alertas de pesquisa para novos artigos, o cadastramento e arquivamento dos encontrados, uma síntese dos resultados e a definição de modelos teóricos.

Então, para este trabalho, a metodologia de execução inspirada em Conforto et al. (2011) e adaptada para outras fontes de informação é apresentada no quadro 09, contemplando todos os grandes temas pesquisados.

Quadro 09 - Estrutura da Revisão de Literatura

Biomimética no ambiente construído, sistemas de certificação ambiental para edificações, conforto térmico, barreiras térmicas naturais, fachada e seu desempenho térmico	
Fase	Etapas
1 - Entrada	Problema: ver tópico 1.2
	Objetivos: ver tópico 1.3
	Fontes primárias: Artigos publicados, teses e dissertações: Portal da CAPES ¹⁴ , <i>Science Direct</i> ¹⁵ , Google acadêmico ¹⁶ e bibliotecas de Curitiba; livros; portais de pesquisa na internet como <i>Asknature</i> , <i>Biomimicry 3.8</i> , <i>Bioinspired</i> ¹⁷ .
	Strings de busca: (tanto em português quanto em inglês) <ul style="list-style-type: none"> • biomimetismo no design ou arquitetura • ambiente construído e sustentabilidade • sistemas de certificação LEED e AQUA-HQE • índices de conforto térmico, desempenho térmico e normativas • barreiras térmicas naturais
	Critérios de inclusão: Exclusão da língua alemã
	Critérios de qualificação: Relacionados à arquitetura e design de produtos e interiores
	Método e ferramentas: Pesquisa avançada nos portais citados e pesquisa exploratória nos portais de pesquisa na internet
	Cronograma: ano de 2014 e 2015
2 - Processamento	Filtro 1: Leitura do título, resumo e palavras-chave
	Filtro 2: Leitura da introdução e conclusão
	Filtro 3: Leitura completa
3 - Saída	Execução: Síntese da bibliografia pesquisada

Fonte: autor, adaptado de Conforto et al. (2011)

Com esta revisão de literatura é possível constatar o "estado da arte" dos assuntos em questão e assim visualizar as lacunas existentes dentro da aplicação da biomimética no ambiente construído. Após a finalização destas pesquisas bibliográfica e documental foi possível elaborar o Capítulo de Fundamentação Teórica desta pesquisa de mestrado, como uma síntese de tudo o que foi encontrado, processado e analisado nesta etapa da pesquisa.

¹⁴ <http://www.periodicos.capes.gov.br/>

¹⁵ <http://www.sciencedirect.com/>

¹⁶ <http://scholar.google.com.br/>

¹⁷ <http://bioinspired.sinet.ca/>

Com a primeira fase concluída, iniciou-se a segunda fase, o procedimento analítico-sintético de todos os dados coletados, e assim foi possível desenvolver primeiramente a estrutura ou formatação base da ferramenta.

Para os sistemas de certificação ambiental, trabalhou-se com a AQUA-HQE e com a LEED por serem respectivamente: a primeira desenvolvida inteiramente para o Brasil; e a mais aplicada, segundo o GBC Brasil (2015) no mundo atualmente.

As soluções naturais selecionadas foram as elencadas no portal de pesquisas *Asknature* para as funções termorreguladoras. Foram elegidas somente as deste portal para haver uma limitação do número de soluções, e por este ser um portal de pesquisas desenvolvido com este propósito, facilitar a comunicação entre biologia e design (DELDIN; SCHUKNEHCT, 2014).

Com a demonstração do uso da ferramenta foi iniciada a terceira fase, a de pesquisa de campo, através de reuniões ou envio por correio eletrônico da explicação da pesquisa e a execução de um questionário, apresentados no anexo A deste trabalho. Esta fase envolveu profissionais de biologia, arquitetura, design, engenharia e especialistas em certificação, resultando na versão preliminar da ferramenta.

4. PROPOSTA DA FERRAMENTA DE PROJETO DE PRODUTO BIOMIMÉTICO

Após a análise da revisão de literatura, da percepção da oportunidade de pesquisa encontrada, e ainda na tentativa de responder ao objetivo geral exposto, que seria iniciar o desenvolvimento de uma ferramenta de projeto que auxilie os designers, arquitetos e engenheiros na criação de produtos biomiméticos e que promovam um ambiente construído mais sustentável, foi proposto a elaboração da Ferramenta de Solução Biomimética (FSB).

A ferramenta, versão preliminar por ainda estar em fase de construção, almeja nortear a geração de ideias de design e promover a aplicação de estratégias biomiméticas no desenvolvimento de novas tecnologias e produtos que impulsionem o ambiente construído a ser naturalmente confortável térmico e assim mais eficiente energeticamente.

A FSB relaciona os princípios naturais termorreguladores aos requisitos de energia e conforto térmico dos sistemas de certificação ambiental para construção civil LEED-CS e AQUA-HQE. Então, utiliza como referência estes princípios naturais e é orientada pelos requisitos mencionados dos sistemas de certificação.

Na utilização da ferramenta, o usuário, preferencialmente composto por uma equipe multidisciplinar (arquitetos, designers, engenheiros, biólogos e afins), inicia analisando o clima do local do projeto, expondo seu problema de design e definindo o uso que pretende atingir com o desenvolvimento do novo produto biomimético.

Em seguida elenca as estratégias naturais que pretende estudar e que resolvem o mesmo problema de forma espontânea. Neste caso coloca-se como exemplo na demonstração de uso da ferramenta, as termorreguladoras do portal de pesquisas *Asknature*. Posteriormente, analisa-as de acordo com seus princípios para atingir a termorregulação; faz-se uma relação, quando existir, com as propriedades físicas dos elementos de acordo com Lamberts et al. (2004) para o cálculo de trocas térmicas; e analisa-as de acordo com seus aspectos do nível de biomimetismo segundo El-Zeiny (2012).

Na sequência seleciona quais créditos, critérios e pré-requisitos dos sistemas de certificação são considerados importantes para resolver o problema proposto. E então classifica os diversos princípios naturais de acordo com o seu potencial para atender aos requisitos técnicos selecionados dos sistemas de certificação.

Esta análise facilita a identificação de estratégias naturais candidatas à biomimetização na resolução do problema de design. Portanto, a ferramenta FSB serve como consultora na demonstração de alguns caminhos que podem ser seguidos na biomimetização de estratégias e, futuramente, pode sistematizar o processo de biomimetização.

Para tanto, deve-se:

- Estabelecer a formatação da ferramenta, que servirá como base para outras soluções biológicas, ou ainda outros requisitos dos sistemas de certificação, dependendo do problema proposto.
- Demonstrar o uso da ferramenta para um produto com um bom comportamento térmico direcionado a fachadas , através da:
 - Análise dos requisitos de Energia e Conforto térmico dos sistemas de certificação LEED-CS e AQUA-HQE. Esta análise resulta em um quadro onde são verificados os critérios de ambos os sistemas que serão inseridos na ferramenta;
 - Análise dos exemplos encontrados no portal de pesquisas *Asknature*; dos seus princípios termorreguladores; bem como, quando for o caso, das suas propriedades físicas para o cálculo de trocas térmicas, através da comparação com aplicações do ambiente construído; e ainda dos aspectos de nível de biomimetismo; para definição de quais serão selecionados para inserção na ferramenta.

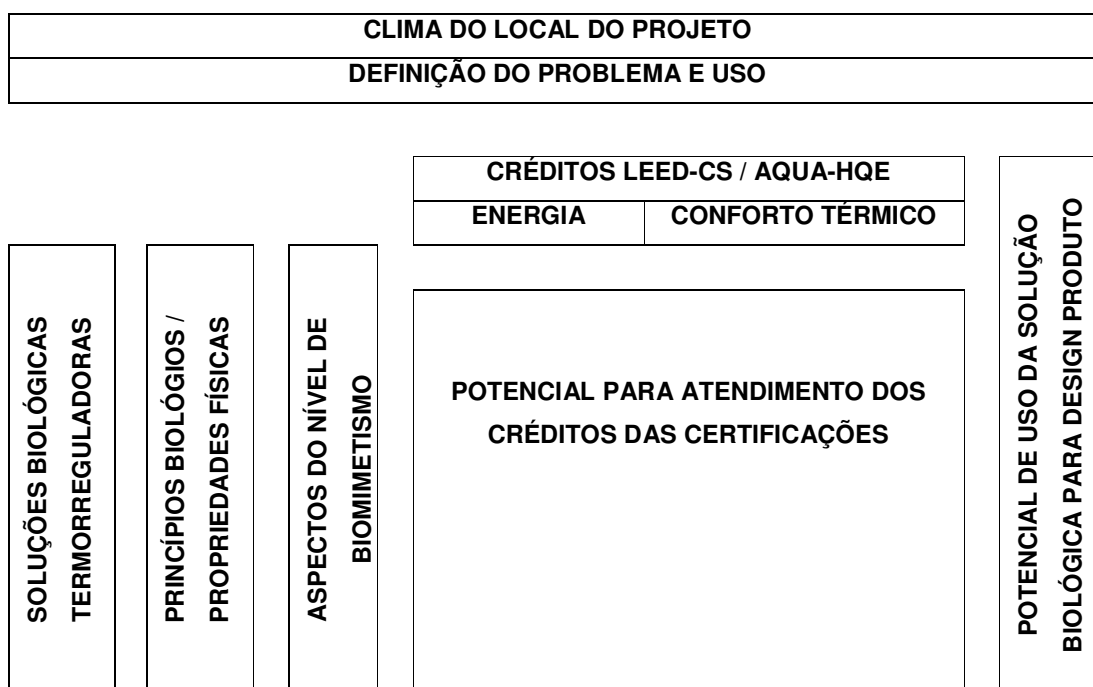
Com a ferramenta exemplificada, através da demonstração de seu uso, passa-se por uma fase de pesquisa de campo realizada através de entrevistas com profissionais das diversas áreas envolvidas para validação da proposta obtida.

Como resultado final, tem-se uma ferramenta, ainda em versão preliminar, como um dos caminhos que podem ser inseridos no processo de desenvolvimento de produtos para o design de novas soluções, promovendo a inovação para o ambiente construído voltado à sustentabilidade. Estes produtos, ao atenderem aos requisitos dos sistemas de certificação, poderiam amparar às edificações a que pertencem a serem certificadas ou ao menos mais sustentáveis.

4.1 FORMATAÇÃO BASE DA FERRAMENTA

Devido a existência de incontáveis soluções naturais e de que os sistemas de certificação ambiental passam por constantes revisões, esta ferramenta não pode apresentar formatação fixa, sempre estará em crescimento e mutação. Contudo, a base da ferramenta de projeto versão preliminar é apresentada no quadro 10.

Quadro 10 - Formatação base da FSB



Fonte: autor

4.2 DEMONSTRAÇÃO DE USO DA FERRAMENTA

O propósito deste tópico é demonstrar o uso da ferramenta, confirmando como esta pode ser o instrumento de projeto, objetivo da pesquisa. A FSB busca nortear o processo de desenvolvimento de produtos sustentáveis, reguladores térmicos e biomiméticos para o ambiente construído. Para tanto, representado pela figura 45, demonstra-se como funciona este procedimento. Inicia-se com estudo do

processo de desenvolvimento de produtos de design, em seguida se localiza em que parte deste processo se insere a metodologia da biomimética, para depois analisar em que momento entra a análise da ferramenta neste caminho.

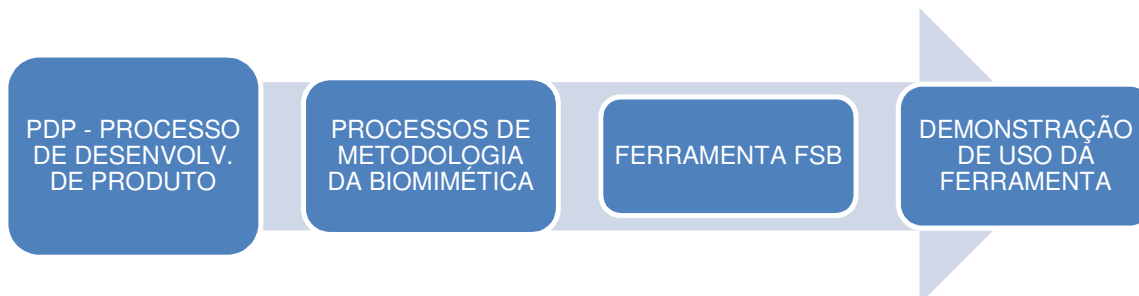


Figura 45 - Etapas para demonstrar o uso da ferramenta

Fonte: autor

Segundo Rozenfeld et al. (2006), o processo de desenvolvimento de produtos ocorre em três grandes fases. A primeira fase é a de planejamento. A segunda fase inicia-se com o projeto informacional, e é até este momento que se define se é desejável alcançar um produto biomimético, regulador térmico, e que ajude na certificação ambiental das edificações, caso desta pesquisa. Se estas metas são apresentadas, ainda na mesma fase se aplica a metodologia da biomimética, definida neste estudo pela sequência *Biocard Method* (adaptada do Design Insite, 2014), formada por 5 etapas:

1. Definição do problema
2. Pesquisa dos termos e das estratégias e princípios
3. Análise das estratégias e princípios
4. Extração das estratégias e princípios
5. Design

Conforme pode ser visto na figura 46, a análise da ferramenta é inserida na segunda etapa, a de pesquisa, da metodologia da biomimética. É neste momento que as equipes, preferencialmente multidisciplinares, analisam a ferramenta; preenchem as linhas e avaliam as colunas, selecionando quais requisitos dos sistemas de certificação são importantes para atendimento do problema proposto; e classificam as soluções naturais, de acordo com o potencial que seus princípios têm de atender aos requisitos. Feito isto, estão mais aptos a selecionar as melhores

estratégias inspiradoras para o problema humano. E assim analisar as estratégias a fundo, extrair seus princípios e prosseguir para a etapa de design. Após a definição do projeto informacional, consegue-se prosseguir o desenvolvimento do produto biomimético, passando assim à fase de projeto conceitual e posteriormente às outras fases.

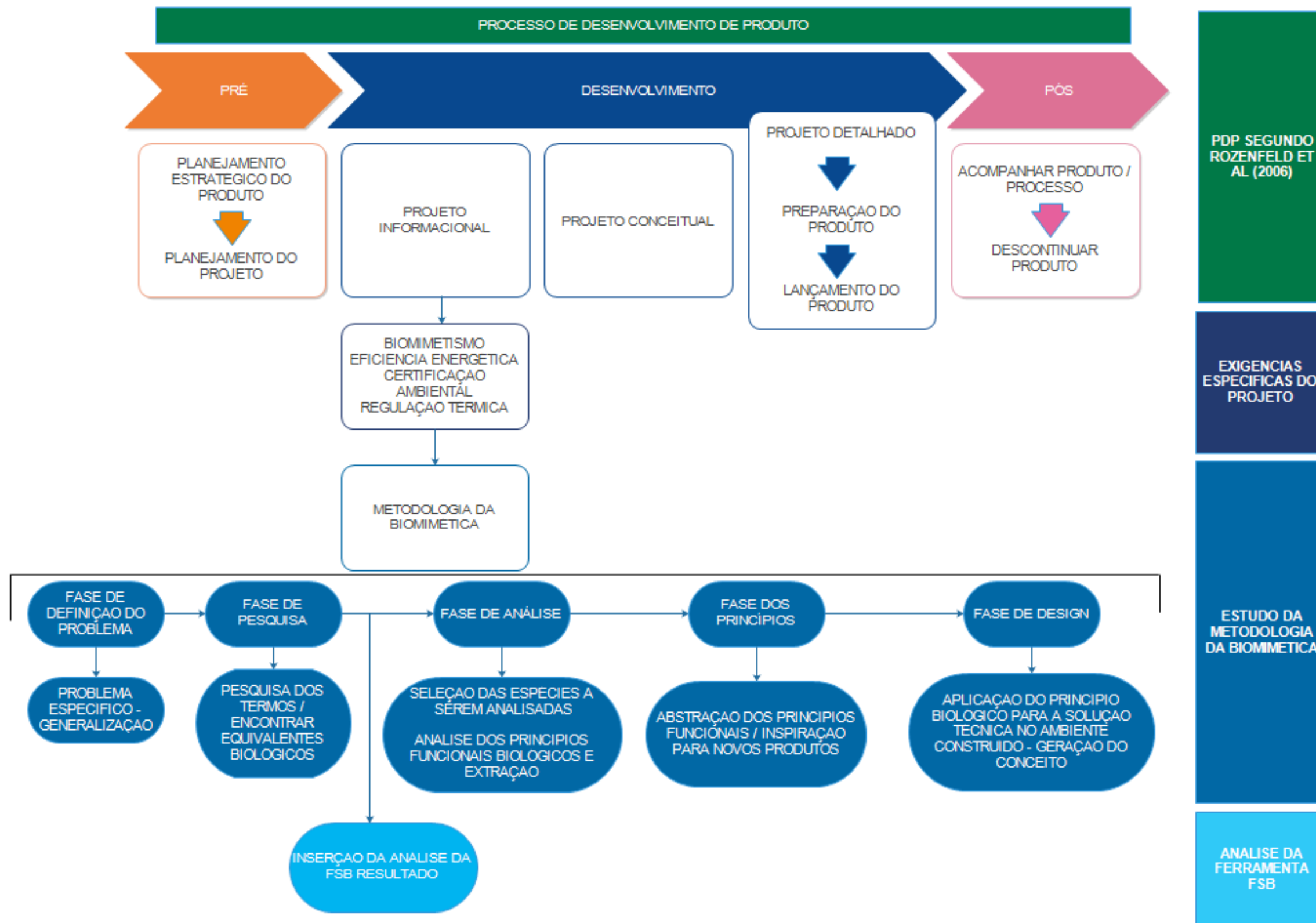


Figura 46 - PDP biomimético para regulação térmica, adaptado do método *Biocard*, com inserção da análise da ferramenta resultado

Fonte: autor, adaptado de Rozenfeld et al. (2006) e Design Insite (2014)

4.2.1 PREENCHIMENTO DAS LINHAS E COLUNAS DA FERRAMENTA

A ferramenta deve ser preenchida pela equipe multidisciplinar que se utilizar da mesma como instrumento de projeto biomimético. Neste estudo coloca-se no exemplo de seu uso o desenvolvimento de um produto para aplicação em fachadas que resulte em um bom comportamento térmico. Para tanto, analisa-se quais os requisitos, créditos ou critérios dos sistemas de certificação serão inseridos na análise e quais as estratégias termorreguladoras do portal de pesquisas *Asknature* serão utilizadas na ferramenta.

4.2.1.1 REQUISITOS DE ENERGIA E CONFORTO TÉRMICO LEED-CS X AQUA-HQE

Através da fundamentação teórica, da definição do objetivo do novo produto almejado e da leitura dos Sistema de Classificação para o *LEED 2009 for Core & Shell Development* e do Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de edifícios residenciais em construção do sistema AQUA-HQE, disponibilizados respectivamente pelos GBC Brasil (2015) e Vanzolini (2015), foi possível fazer uma lista com os pré-requisitos, créditos e critérios encontrados nos dois sistemas de certificação; e posteriormente, uma análise, segundo o autor, se os mesmos seriam indicados ou não para inserção neste exemplo da ferramenta para um produto regulador e com um bom desempenho térmico para fachadas, conforme os quadros 11, 12, 13 e 14 apresentados a seguir.

Quadro 11 - Quadro analisado pelo autor dos créditos de Energia do sistema de certificação LEED-CS

Produto para bom comportamento térmico em fachadas				
Certificação	Pré-Requisitos e Créditos	Resumo pelo autor	Indicado para inserção na ferramenta, segundo o autor	Por que? (somente em caso de não)
LEED-CS - Energia e Atmosfera	Comissionamento dos sistemas de energia (PR1)	Executar um planejamento dos gastos energéticos da edificação e medir pós obra se cumpre o planejamento	Não	Mimetização dos sistemas naturais não teria como ser analisada para medição
	Performance mínima de energia (PR2)	Consumir menos energia	Sim	
	Gestão fundamental de gases refrigerantes (PR3)	Utilização de sistemas Zero CFC	Não	A princípio todos os sistemas naturais são Zero CFC
	Otimização da performance energética (créd. 1)	Aperfeiçoamento do PR2	Não	Somente aperfeiçoamento de item já inserido
	Energia renovável no local (créd. 2)	Aumentar o uso e o fornecimento de energia renovável produzida no local da obra, podendo ser: fotovoltaico, eólico, solar térmico,...	Não	Foco no desempenho térmico e não na produção de energia
	Melhoria no comissionamento (créd. 3)	Aperfeiçoamento do PR1	Não	Idem PR1
	Melhoria na gestão de gases refrigerantes (créd. 4)	Aperfeiçoamento do PR3	Não	Idem PR3
	Medições e Verificações (créd. 5.1 e 5.2)	Previsão do consumo energético contínuo ao longo do tempo	Não	Mimetização dos sistemas naturais não teria como ser analisada para medição
	Energia Verde (créd. 6)	Utilização de energia renovável em base de poluição zero	Não	Foco no desempenho térmico e não na energia renovável

*PR - pré requisito

Fonte: autor, com base em GBC Brasil (2015)

Quadro 12 - Quadro analisado pelo autor dos créditos de Energia do sistema de certificação AQUA-HQE

Produto para um bom comportamento térmico em fachadas				
Certificação	Créditos	Resumo pelo autor	Indicado para inserção na ferramenta, segundo o autor	Por que? (somente em caso de não)
AQUA-HQE - Gestão da energia	Concepção térmica (créd. 4.1)	Utilização e melhoria da envoltória para limitar desperdícios de energia e de acordo com a zona climática do empreendimento	Sim	
	Redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão (créd. 4.2)	Reduzir o consumo de energia e desempenho para os sistemas de aquecimento e resfriamento	Sim	
	Energia térmica solar e/ou painéis fotovoltaicos (créd. 4.3)	Utilização de energias renováveis locais	Não	Foco no desempenho térmico e não na energia renovável
	Desempenho do sistema para produção de água quente (créd. 4.4)	Reduzir o consumo de energia e desempenho para produção de água quente e sistemas de aquecimento e resfriamento	Não	Repetição do créd. 4.2 (sistema de aquecimento e resfriamento)
	Iluminação artificial (créd. 4.5 e 4.6)	Reduzir o consumo de energia para iluminação	Não	Não se aplica diretamente à termorregulação
	Elevador (créd. 4.7)	Reduzir o consumo de energia no uso do elevador	Não	Não se aplica à termorregulação
	Redução do consumo de energia dos demais equipamentos (créd. 4.8)	Reduzir o consumo de energia para os demais equipamentos	Não	Ampliação do créd. 4.2
	Controle do consumo de energia (créd. 4.9)	Medidor individual para cada residência	Não	Mimetização dos sistemas naturais não teria como ser analisada para medição

Fonte: autor, com base em Vanzolini (2015)

Quadro 13 - Quadro analisado pelo autor dos créditos de Qualidade Ambiental Interna do sistema de certificação LEED-CS

Produto para um bom comportamento térmico em fachadas				
Certificação	Pré-Requisitos e Créditos	Resumo pelo autor	Indicado para inserção na ferramenta, segundo o autor	Por que? (somente em caso de não)
LEED-CS - Qualidade Ambiental Interna - Conforto térmico	Desempenho mínimo da qualidade do ar interno (PR1)	Obedecer uma performance mínima de qualidade do ar interno	Sim	
	Controle da fumaça do cigarro (PR2)	Evitar a fumaça do cigarro	Não	Não se aplica à termorregulação
	Monitoramento do ar externo (créd.1)	Monitoramento dos sistemas de ventilação	Não	Mimetização dos sistemas naturais não teria como ser analisada para monitoramento
	Aumento da ventilação (créd.2)	Promover ventilação adicional	Sim	
	Plano de gestão de qualidade do ar (créd.3)	Gestão para melhorar a qualidade do ar durante a construção ou reforma	Não	Mimetização dos sistemas naturais não teria como ser analisada para gestão
	Materiais de baixa emissão (créd. 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4)	Utilizar materiais de baixa emissão	Não	Não se aplica à termorregulação
	Controle Interno de Poluentes e produtos químicos (créd. 5)	Minimizar a exposição à poluentes químicos	Não	Não se aplica à termorregulação
	Controle de sistemas - Conforto térmico (créd.6)	Promover um controle individual de conforto térmico	Não	Mimetização dos sistemas naturais não teria como ser analisada para controle
	Conforto térmico - Projeto (créd.7)	Fornecer um ambiente confortável termicamente	Sim	
	Iluminação natural e paisagem (créd.8.1 e 8.2)	Fornecer ambientes com iluminação natural e vista externa	Não	Não há como relacionar às estratégias de termorregulação

*PR - pré requisito

Fonte: autor, com base em GBC Brasil (2015)

Quadro 14 - Quadro analisado pelo autor dos créditos de Conforto Higrotérmico do sistema de certificação AQUA-HQE

Produto para um bom comportamento térmico em fachadas				
Certificação	Créditos	Resumo pelo autor	Indicado para inserção na ferramenta, segundo o autor	Por que? (somente em caso de não)
AQUA-HQE - Conforto Higrotérmico	Implantação de medidas arquitetônicas para otimização do conforto higrotérmico de verão e de inverno (créd. 8.1)	Concepção arquitetônica adequada às características do local	Sim	
	Conforto em período de inverno (créd. 8.2)	Atendimento ao desempenho mínimo para condições de inverno	Não	Aperfeiçoamento de item já inserido
	Conforto em período de verão (créd. 8.3)	Atendimento ao desempenho mínimo para condições de verão	Não	Aperfeiçoamento de item já inserido
	Medida do nível de higrometria (créd. 8.4)	Fazer a medição individual de cada casa	Não	Mimetização dos sistemas naturais não teria como ser analisada para medição

Fonte: autor, com base em Vanzolini (2015)

Na análise dos quadros 11, 12, 13 e 14 é possível visualizar quais são os requisitos, critérios e créditos de energia e conforto térmico pertencentes aos dois sistemas de certificação que são julgados pelo autor importantes para inserção na exemplificação da Ferramenta FSB no desenvolvimento de produto biomimético para um bom comportamento térmico de fachadas.

Ainda segundo o autor, alguns destes créditos se sobrepõe, como:

- "performance mínima de energia" e "otimização da performance energética" possuem o mesmo objetivo, sendo o segundo apenas mais aprofundado;
- "desempenho do sistema para produção de água quente" envolve os sistemas de aquecimento e resfriamento da mesma forma que "redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão";
- "implantação de medidas arquitetônicas para otimização do conforto higrotérmico de verão e de inverno", "conforto em período de inverno" e "conforto em período de verão". O primeiro versa sobre verão e inverno, então julga-se desnecessário repetir.

Então, para inserção e utilização da ferramenta, é proposto relacionar os itens apresentados e compilados no quadro 15 no estudo para execução do novo produto biomimético para um bom comportamento térmico.

Quadro 15 - Créditos de Energia e Conforto térmico dos sistemas de certificação ambiental LEED-CS e AQUA-HQE que serão inseridos na ferramenta

ENERGIA LEED-CS / AQUA-HQE	Performance mínima de energia
	Concepção térmica
	Redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão
CONFORTO TÉRMICO LEED-CS / AQUA-HQE	Desempenho mínimo da qualidade do ar interno
	Aumento da ventilação
	Conforto térmico - Projeto
	Implantação de medidas arquitetônicas para otimização do conforto higrotérmico de verão e de inverno

Fonte: autor

4.2.1.2 SOLUÇÕES BIOLÓGICAS TERMORREGULADORAS DO ASKNATURE X PRINCÍPIOS NATURAIS X PROPRIEDADES FÍSICAS

Com base nas informações do portal de pesquisas *Asknature* e do quadro apresentado por El-Zeiny (2012) para as características mimetizáveis, foi possível elaborar o quadro 16:

Quadro 16 - Análise do autor para as estratégias de termorregulação do *Asknature*, seus princípios e aspectos do nível de biomimetismo segundo El-Zeiny (2012)

Natureza	Estratégias de termorregulação	Princípio	Aspectos do nível de biomimetismo segundo El-Zeiny, classificado pelo autor
Cupins	Ventilação passiva pelos túneis do ninho (arquitetura interna)	Ventilação passiva	Construção de abrigo Resposta ao clima por ventilação
Cão da pradaria	Ventilação passiva pelos túneis das tocas (arquitetura interna)	Ventilação passiva	Construção de abrigo Resposta ao clima por ventilação
Carrapato	Utilização do vapor de água da atmosfera como se fosse água	Produção de água	Adaptação à limitada oferta de recursos Técnicas de sobrevivência Sistema orgânico
Hipopótamo	Secreção na pele o protege do sol intenso	Secreção da pele	Sistema orgânico Técnicas de sobrevivência Resposta por autoproteção
Aves <i>caprimulgidae</i>	Vibração gular dissipa o calor por evaporação	Evaporação de água	Estrutura Resposta ao clima por refrigeração Sistema orgânico
Abelhas	Colhem água, espalham e evaporam a mesma para resfriamento	Evaporação de água	Sistema orgânico Resposta ao clima por refrigeração
Mamíferos	Glândulas sudoríparas funcionam através da evaporação	Evaporação de água	Sistema orgânico Resposta ao clima por refrigeração
Tenrecídeos	Sobrevivem ao clima quente por entrar em estado de estivação	Estivação (estado do dormência)	Sistema orgânico Técnicas de sobrevivência Resposta por autoproteção
Cacto	Estrutura possui filetes para sombra	Obstáculo para sombra	Forma e volumetria Estrutura
Árvores	Projetam sombra	Obstáculo para sombra	Forma e volumetria Função Interação com outras criaturas
Cacto mesclal	Se esconde abaixo do solo para	Obstáculo para	Forma e volumetria

<i>Lophophora williamsii</i>	proteção do calor	sombra	Estrutura Técnica de sobrevivência Resposta ao clima por refrigeração Resposta por autoproteção Adaptação à limitada oferta de recursos
<i>Euphorbias</i>	Armazenam água em seus troncos. E também apresentam uma superfície que os protege	Armazenamento de água	Estrutura Sistema orgânico Técnica de sobrevivência Resposta ao clima por refrigeração
Estrela-do-mar	Armazena água na maré alta para ajudar na maré baixa e exposição ao sol	Armazenamento de água	Técnica de sobrevivência Resposta ao clima por refrigeração Adaptação à limitada oferta de recursos
Coelhos-do-deserto	Suas orelhas funcionam como refrigeração, irradiando calor por meio de seus vasos sanguíneos	Forma da vascularização e circulação	Sistema circulatório Resposta ao clima por refrigeração
Tucano-toco	Tanto para calor quanto para frio, seu bico funciona como trocador de calor através do fluxo sanguíneo	Forma da vascularização e circulação	Forma Sistema circulatório Resposta ao clima por refrigeração
Cangurus-vermelhos	Vasos sanguíneos superficiais nas patas promovem a perda de calor através da evaporação ocasionada por lambidas	Forma da vascularização e circulação e evaporação	Sistema circulatório Resposta ao clima por refrigeração
Elefante africano	Tanto para o calor quanto para o frio, regula a temperatura pela vascularização da sua pele	Forma da vascularização e circulação	Sistema circulatório Resposta ao clima por refrigeração
Gazela-de-thomson	Circulação sanguínea refrigera seu cérebro na fuga de predadores	Forma da vascularização e circulação	Sistema circulatório e respiratório Técnica de sobrevivência Interação com outras criaturas Resposta ao clima por refrigeração
Caracol do deserto	Alta reflexão dos raios solares, arquitetura da concha e camada de ar interna que faz um isolamento natural	Reflexão raios solares, Camada de ar, Arquitetura do casco	Forma, volumetria Estrutura Resposta ao clima por refrigeração Adaptação a diferentes níveis de luz e sombra
Cascas das árvores	Casca minimiza a absorção da luz solar e maximiza a emissão térmica	Superfície e material - reflexão calor	Volumetria Estrutura
Árvore <i>Aloe dichotoma</i>	Protegida do calor do sol por um pó branco que serve como uma cobertura refletiva.	Reflexão da luz solar - cor branca	Cor Resposta por autoproteção
Abelhas de	Gera calor através de vibrações	Produção de	Estrutura

mel	torácicas	calor por vibração	Movimento Resposta ao clima por calefação
Tipo de esquilo	Células de gordura geram calor pela oxidação da gordura	Queima de gordura	Sistema orgânico Resposta ao clima por calefação
Pinguins imperadores	Se protegem do frio devido ao amontoamento social Suas penas formam uma camada contínua de ar ao redor do corpo	Organização em grupo / Camada de ar intermediárias	Estrutura Técnica de sobrevivência Interação com outras criaturas Administração e coordenação do grupo Resposta ao clima por calefação
Formiga formica rufa	Esquenta o ninho pelo calor do grupo em coletividade	Organização em grupo	Técnica de sobrevivência Interação com outras criaturas Administração e coordenação do grupo Resposta ao clima por calefação
Plantas 'cuhions'	Seus caules extremamente juntos promovem o isolamento contra o frio	Organização em grupo	Forma Estrutura Resposta por autoproteção
Plantas gênero <i>Lysichiton</i>	Termostato interno regula sua temperatura	Termostato natural	Estrutura Adaptação a diferentes níveis de luz e sombra
Golfinho nariz- de-garrafa	Gordura funciona como material de mudança de fase, absorvendo calor	Material de mudança de fase	Sistema orgânico Resposta ao clima por calefação
Atum-gaiado	Barreira térmica entre o sangue venoso e as guelras, não deixando o calor ser dissipado	Forma da vascularização e circulação	Sistema circulatório Resposta ao clima por calefação
Jacaré	Regula sua troca de calor através do aumento da circulação sanguínea	Forma da vascularização e circulação	Sistema circulatório Resposta ao clima por calefação
Tipo de morcego brasileiro	Arranjo do sistema de artérias e veias cria janelas térmicas	Forma da vascularização e circulação	Sistema circulatório Resposta ao clima por calefação
Tartaruga-de- couro marinha	Sistema vascular da traquéia ajuda a manter a temperatura corporal	Forma da vascularização e circulação	Sistema circulatório e respiratório Resposta ao clima por calefação
Ovelha Merino	Sua lã forma uma camada isolante com a camada abaixo	Camadas de ar intermediárias	Estrutura Sistema orgânico Resposta ao clima por calefação
Pinguim gentoo	Rígida e densa estrutura de penas isolam da água	Organização e forma da pelagem	Forma e volumetria Estrutura Resposta ao clima por calefação
Urso polar	Seu pêlo o isola devido à baixa emissividade	Organização e forma da	Forma, cor e volumetria Estrutura

		pelagem	Resposta ao clima por calefação
Rena	Sua pele possui uma densa camada abaixo que o isola	Organização e forma da pelagem	Forma e volumetria Estrutura Resposta ao clima por calefação
Numbat	Pelagem curta e esparsa, favorece perda de calor no verão e ganho de calor no inverno	Organização e forma da pelagem	Forma e volumetria Estrutura Resposta ao clima por calefação e refrigeração

Fonte: autor, com base em *Asknature* (2015) e El-Zeiny (2012)

Para demonstração do uso da ferramenta trabalha-se com um exemplo de cada princípio, elegidos no quadro 17; dentro destes princípios, quais as propriedades físicas que os exemplos, se fossem biomimetizados para o ambiente construído, apresentariam para o cálculo das trocas térmicas, com base em Lamberts et al. (2004); e ainda exemplos de aplicações possíveis para o ambiente construído, tanto para a arquitetura das edificações, quanto para o design de produtos.

Quadro 17 - Seleção de algumas estratégias de termorregulação do *Asknature*, seus princípios, propriedades físicas e aplicações para o ambiente construído

Natureza	Estratégias de termorregulação	Princípio biológico / Propriedades físicas	Algumas aplicações possíveis no ambiente construído
Cupim	Ventilação passiva pelos túneis do ninho (arquitetura interna)	Ventilação passiva	Sistema de ventilação da edificação projetado com os mesmos princípios
Carrapato	Utilização do vapor de água da atmosfera como se fosse água	Produção de água / mudança de fase	Captação do vapor de água da atmosfera e transformação em líquido
Hipopótamo	Secreção na pele o protege do sol intenso	Secreção da pele / aumento da espessura da camada ou alteração para baixa absorvidade	Algum tipo de produto que possa ser aplicado nas fachadas que funcione como um "protetor solar"
Aves <i>caprimulgidae</i>	Vibração gular dissipa o calor por evaporação	Evaporação de água / mudança de fase	Através da vibração, evaporar água no ambiente, esfriando-o
Tenrecideos	Sobrevivem ao clima quente por entrar em estado de estivação	Estivação (estado do dormência)	Desenvolver uma espécie de estado de estivação na edificação, onde consuma menos energia
Cacto	Estrutura possui filetes para sombra	Obstáculo para sombra	<i>Brise-soleil</i>
Estrela-do-mar	Armazena água na maré alta para ajudar na maré	Armazenamento de água	Nos dias de chuva captar a água da chuva e manter nas fachadas para se

	baixa e exposição ao sol		proteger nos dias de calor intenso
Gazela-de-thomson	Circulação sanguínea refrigera seu cérebro na fuga de predadores	Forma da vascularização e circulação	Sistemas para resfriamento de fachadas através de canos de água gelada embutidos nas paredes
Árvore <i>Aloe dichotoma</i>	Protegida do calor do sol por um pó branco que serve como uma cobertura refletiva.	Reflexão da luz solar - cor branca / baixa absorvidade	Pintura com tinta branca para reflexão dos raios solares em coberturas e fachadas
Abelhas de mel	Gera calor através de vibrações torácicas	Produção de calor por vibração	Geração de calor e energia através da vibração
Tipo de esquilo	Células de gordura geram calor pela oxidação da gordura	Queima de gordura	Geração de calor através da queima de materiais ou gorduras
Pinguins imperadores	Se protegem do frio devido ao amontoamento social Suas penas formam uma camada contínua de ar ao redor do corpo	Organização em grupo / Camadas de ar intermediárias / baixa condutibilidade	Camadas de ar nas fachadas e de materiais instalados extremamente juntos para isolamento térmico
Plantas gênero <i>Lysichiton</i>	Termostato interno regula sua temperatura	Termostato natural	Termostato que controle a temperatura interna e ligue os sistemas de aquecimento e refrigeração apenas se necessário
Numbat	Pelagem curta e esparsa, favorece perda de calor no verão e ganho de calor no inverno	Organização e forma da pelagem / baixa absorvidade, condutibilidade e aumento da espessura da camada	Desenvolvimento de material inspirado na pelagem do animal para aplicação em fachadas

Fonte: autor, com base em *Asknature* (2015)

4.2.2 EXEMPLO DA FERRAMENTA APLICADA PARA PRODUTO COM BOM COMPORTAMENTO TÉRMICO PARA FACHADAS

Na demonstração do uso da ferramenta, sugere-se um exemplo direto de aplicação para desenvolvimento de produto isolante térmico para fachadas, que relaciona os princípios naturais termorreguladores do portal de pesquisas *Asknature* aos requisitos selecionados anteriormente de energia e conforto térmico dos sistemas de certificação LEED-CS e AQUA-HQE.

Esta relação permite aos usuários da ferramenta classificar as soluções naturais. O autor indica utilizar a mesma forma de classificação do sistema AQUA, que qualifica em Melhores Práticas (MP), Boas Práticas (BP), Base (B) ou Não Conforme (NC), conforme pode ser visualizado no Referencial de Avaliação da Qualidade Ambiental de edifícios residenciais em construção do sistema AQUA-HQE (VANZOLINI, 2015), de acordo com o número de critérios atendidos.

CLIMA DO LOCAL DO PROJETO: Clima temperado / Temperaturas médias: Inverno - 8° a 19°C e Verão - 16° a 27°C.

PROBLEMA DE DESIGN - Promover um ambiente construído mais eficiente energeticamente, através do desenvolvimento de um produto para fachadas.

Resumo do PDP:

❖ Fase Pré

- Planejamento estratégico do produto / planejamento do projeto - desenvolver um produto biomimético para fachadas e isolante térmico.

❖ Fase desenvolvimento

- Projeto Informacional

Produto biomimético / eficiente energeticamente / sustentável / regulador térmico / facilite a edificação a que pertence a ser certificada.

Aplicação da **METODOLOGIA DA BIOMIMÉTICA:**

- Definição do problema - promover um ambiente construído mais eficiente energeticamente, através do desenvolvimento de um produto biomimético para aplicação em fachadas e isolante térmico. Utilizar os sistemas de certificação LEED-CS e AQUA-HQE como norteadores do processo.
- Pesquisa - Encontrar na ferramenta os equivalentes biológicos que mais atenderiam.

*VER QUADRO 18

- Análise - Selecionar as espécies a serem analisadas / análise dos princípios funcionais biológicos (selecionar espécies MP):
 - ◆ Cacto: obstáculo para sombra
 - ◆ Gazela de thomson: forma da vascularização e circulação

- ♦ Pinguim imperador: Organização em grupo / Camadas de ar intermediárias
- ♦ Numbat: Organização e forma da pelagem
- Extração - Extrair os princípios.

Para o desenvolvimento do novo produto, juntamente com profissionais experientes da área biológica, se estudaria a fundo os princípios analisados na etapa anterior:

- ♦ Cacto: estrutura possui filetes para sombra - qual angulação tem estes obstáculos em relação a trajetória do sol? Como funciona?
- ♦ Gazela de thomson: Circulação sanguínea refrigera seu cérebro na fuga de predadores - qual é a disposição dos vasos sanguíneos? De que maneira se refrigeram? Poderia funcionar para calefação também? Como funciona?
- ♦ Pinguim imperador: Se protegem do frio devido ao amontoamento social / suas penas formam uma camada contínua de ar ao redor do corpo - como funciona este amontoamento? É feito de forma aleatória? A camada de ar é presente ao redor de todo o corpo do animal? Como funciona?
- ♦ Numbat: Pelagem curta e esparsa, favorece perda de calor no verão e ganho de calor no inverno - Como é organizada esta pelagem? De que cor e forma? Como funciona?
- Design - Gerar o conceito e aplicar no design do novo produto.

Após a análise biológica e de design dos princípios da etapa anterior, é possível extrair o conceito para o novo produto, inspirado pelas soluções biológicas selecionadas. Assim se torna possível o alcance da fase projetual de projeto.

- Projeto conceitual
- Projeto detalhado
- Preparação para produção
- Lançamento do produto

❖ Fase pós

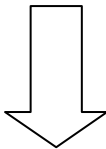
- Acompanhar produto / processo
- Descontinuar produto

Quadro 18 - Exemplo de uso da Ferramenta FSB

Soluções biológicas termorreguladoras do <i>Asknature</i>	CLIMA DO LOCAL: Clima temperado / Temperaturas médias: Inverno - 8° a 19°C e Verão - 16° a 27°C											POTENCIAL DE USO DA SOLUÇÃO BIOLÓGICA PARA INSPIRAÇÃO NO DESIGN DE PRODUTO
	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E USO: Eficiência energética através de um produto para ISOLAMENTO térmico nas fachadas											
	Soluções biológicas	Princípios biológicos / Propriedades físicas	Aspectos do nível de biomimetismo	PRINCÍPIO ATENDE PROBLEMA E USO PROPOSTO	CRÉDITOS LEED-CS / AQUA-HQE							
					ENERGIA			CONFORTO TÉRMICO				
					Performance mínima de energia	Concepção térmica	Redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão	Desempenho mínimo da qualidade do ar interno	Aumento da ventilação	Conforto térmico - Projeto	Implantação de medidas arquitet. para otimização do conforto higrotérm. de verão e de inverno	
	Cupim	Ventilação passiva	Construção de abrigo Resposta ao clima por ventilação									
	Carrapato	Produção de água / mudança de fase	Adaptação à limitada oferta de recursos Técnicas de sobrevivência Sistema orgânico									
	Hipopótamo	Secreção da pele / aumento da espessura da camada ou alteração para baixa absortividade	Sistema orgânico Técnicas de sobrevivência Resposta por autoproteção	X							BP	
	Aves <i>caprimulgidae</i>	Evaporação de água / mudança de fase	Estrutura Resposta ao clima por refrigeração Sistema orgânico									
	Tenrecídeos	Estivação (estado do dormência)	Sistema orgânico Técnicas de sobrevivência Resposta por autoproteção									
Cacto	Obstáculo para sombra	Forma e volumetria Estrutura	X							MP		
Estrela-do-mar	Armazenamento de água	Técnica de sobrevivência Resposta ao clima por refrigeração Adaptação à limitada oferta de recursos	X							BP		
Gazela-de- thomson	Forma da vascularização e circulação	Sistema circulatório e respiratório Técnica de sobrevivência Interação com outras criaturas Resposta ao clima por refrigeração	X							MP		
Árvore <i>Aloe dichotoma</i>	Reflexão da luz solar - cor branca / baixa absortividade	Cor Resposta por autoproteção	X							BP		

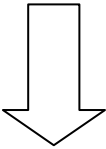
	Abelhas de mel	Produção de calor por vibração	Estrutura Movimento Resposta ao clima por calefação									
	Tipo de esquilo	Queima de gordura	Sistema orgânico Resposta ao clima por calefação									
	Pinguins imperadores	Organização em grupo / Camadas de ar intermediárias / baixa condutibilidade	Estrutura Técnica de sobrevivência Interação com outras criaturas Administração e coordenação do grupo Resposta ao clima por calefação	X								MP
	Plantas gênero <i>Lysichiton</i>	Termostato natural	Estrutura Adaptação a diferentes níveis de luz e sombra									
	Numbat	Organização e forma da pelagem / baixa absortividade, condutibilidade e aumento da espessura da camada	Forma e volumetria Estrutura Resposta ao clima por calefação e refrigeração	X								MP

em contínuo crescimento



Classificação:

Classificação	Atendimento aos critérios
	Não
	Médio
	Sim



Classificação	Classificação inspirada no sistema AQUA que deve ser atribuída às soluções biológicas pelo usuário após análise
Nenhum potencial	NC (Não conforme)
Baixo potencial	B (Base)
Médio potencial	BP (Boas práticas)
Alto potencial	MP (Melhores práticas)

Fonte: autor

4.3 ANÁLISE POR PROFISSIONAIS

A ferramenta e os resultados encontrados até o momento foram analisados por profissionais e pesquisadores dos diversos assuntos envolvidos para dar maior confiabilidade e credibilidade à pesquisa. Esta análise foi feita em reuniões pessoalmente ou por correio eletrônico. Nas duas formas foi apresentado o material que consta no ANEXO A. O Anexo A contém também as respostas e contribuições dadas pelos envolvidos.

Estes profissionais são das áreas de arquitetura, do design, da biologia, da certificação LEED e da Biomimética, conforme a listagem:

- Engenheiro A - Profissional LEED AP
- Designer B - Ecodesigner
- Arquiteto C - Profissional LEED AP
- Professora D - Professora zoologia UFPR

Na análise das respostas obtidas, coloca-se abaixo quais foram as sugestões de alterações tanto na ferramenta proposta quanto nos créditos selecionados ou demais itens, que, na opinião dos diversos profissionais, facilitaria o uso da FSB ou poderia iniciar a sistematização do processo de biomimetização.

O engenheiro A em resumo propõe separar os créditos dos dois sistemas de certificação para que não haja confusão entre os usuários da ferramenta. Ou ainda separar os créditos de economia de energia por finalidade, como: envoltória, iluminação, HVAC e equipamentos. O engenheiro ainda sugere inserir os créditos: "gestão fundamental de gases refrigerantes" e "controle de sistemas - conforto térmico" do sistema de certificação LEED. Coloca que a classificação da ferramenta de maneira subjetiva pode ser um pouco perigoso, mas como soluções para inspiração em projetos de design, serve ao seu propósito. Na sua opinião, a utilização da ferramenta no desenvolvimento de produtos para uma edificação pontuaria na categoria "Inovação" dos sistemas de certificação.

A designer B, participante de uma escola de formação em Ecodesign e Biomimetismo, coloca que, neste estudo, os sistemas de certificação ambiental para edificações não são tão importantes, o que importa mesmo é a inovação dos produtos desenvolvidos com a inspiração na natureza para resolução dos problemas

humanos. Em sua opinião, esta ferramenta facilita muito a visualização dos princípios de forma elencada. A designer acredita ser bastante importante colocar imagens, fotos ou desenhos dos princípios na ferramenta, para que, ao simplesmente olhá-la, o usuário se inspire.

O arquiteto C considera o assunto do biomimetismo muito interessante e importante para a área de eficiência energética e conforto ambiental na construção civil. Ele acredita que o desenvolvimento da ferramenta é um bom início para os profissionais buscarem subsídios na natureza, e acredita que a pergunta que deve ser mais e melhor respondida é: como consumir menos energia e manter o conforto térmico no ambiente interior. Na opinião do arquiteto, ao utilizar a ferramenta proposta, o usuário chegará a conclusão que terá que pesquisar, então sugere que a análise dos princípios apresente soluções adaptadas ao ambiente construído e exemplos de situações possíveis de serem aplicadas.

Na área biológica, a professora D de zoologia entrevistada sugere, da mesma forma que a ecodesigner, incluir imagens, desenhos ou fotografias dos princípios funcionais fisiológicos ou comportamentais na ferramenta. Coloca que a classificação deveria ser inicialmente definida por: Sim, Médio ou Não, pontuada desta forma, para aí sim, ser classificada de maneira automática de acordo com a pontuação obtida. A professora sugere não classificar da mesma forma que um dos sistemas de certificação o faz, e sim criar uma nova forma de classificação, de acordo com critérios próprios, para que não haja confusão aos usuários que se utilizarem da ferramenta, ao crer, erroneamente, que garantiriam algum ponto no sistema de certificação. Outro ponto discutido pela professora é o de que existem milhões de espécies na natureza, mas não existem milhões de soluções; mesmo em organismos totalmente diferentes, as soluções são muito recorrentes. Então identificar estas soluções genéricas permite perceber que as soluções biológicas resolvem, de maneira quase sempre igual, naturalmente seus problemas.

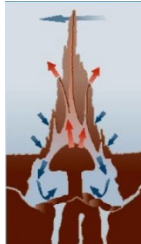
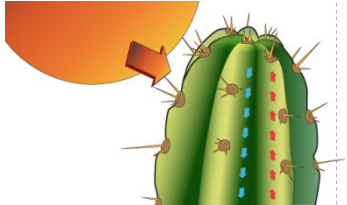

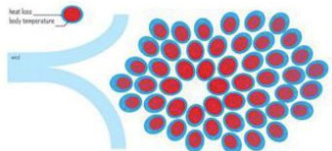
4.4 FERRAMENTA FSB

Após a contribuição dos profissionais envolvidos na pesquisa de campo, foi selecionado algumas sugestões para alteração da ferramenta e geração de sua versão preliminar, como:

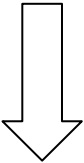
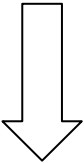
- separar os créditos dos sistemas de certificação;
- inserção do crédito "controle de sistemas - conforto térmico";
- inserção de imagens, fotos ou desenhos dos princípios;
- alteração da forma de classificação em:
 - ◆ Sim, Médio e Não, com notas;
 - ◆ soma das notas e classificação final de maneira automática de acordo com pontuação obtida;
 - ◆ classificação final diferente dos sistemas de certificação.

Após analisar todas as sugestões foi possível elaborar o exemplo da versão final da Ferramenta FSB, conforme quadro 19. E também a sua formatação final como principal resultado, apresentado no quadro 20, a FSB versão preliminar.

Quadro 19 - Exemplo Ferramenta FSB atualizada

Soluções biológicas termorreguladoras do <i>Asknature</i>	CLIMA DO LOCAL: Clima temperado / Temperaturas médias: Inverno - 8° a 19°C e Verão - 16° a 27°C											PONTUAÇÃO OBTIDA (MÁXIMO 24 PONTOS)	POTENCIAL DE USO DA SOLUÇÃO BIOLÓGICA PARA INSPIRAÇÃO NO DESIGN DE PRODUTO	
	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E USO: Eficiência energética através de um produto para ISOLAMENTO térmico nas fachadas													
	Soluções biológicas	Princípios biológicos / Propriedades físicas	Aspectos do nível de biomimetismo	PRINCÍPIO ATENDE PROBLEMA E USO PROPOSTO	CRÉDITOS LEED-CS					CRÉDITOS AQUA-HQE				
					ENERGIA	CONFORTO TÉRMICO				ENERGIA				CONFORTO TÉRMICO
					Performance mínima de energia	Desempenho mínimo da qualidade do ar interno	Aumento da ventilação	Controle de sistemas - Conforto térmico	Conforto térmico - Projeto	Concepção térmica	Redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão			Implantação de medidas arquitet. para otimização do conforto higratérm. de verão e de inverno
Cupim	<div>Ventilação passiva</div> 	Construção de abrigo Resposta ao clima por ventilação												
Cacto	<div>Obstáculo para sombra</div> 	Forma e volumetria Estrutura	X	3	1	0	3	3	3	3	3	19	Alto	
Árvore <i>Aloe dichotoma</i>	<div>Reflexão da luz solar - cor branca / baixa absortividade</div> 	Cor Resposta por autoproteção	X	3	1	0	1	1	1	3	3	13	Médio	
Pinguins imperadores	<div>Organização em grupo / Camadas de ar intermediárias / baixa condutibilidade</div> 	Estrutura Técnica de sobrevivência Interação com outras criaturas Administração e coordenação do grupo Resposta ao clima por calefação	X	3	1	0	3	3	3	3	3	19	Alto	

em contínuo crescimento



Classificação:

Classificação	Atendimento aos critérios	Pontuação
	Não	0
	Médio	1
	Sim	3

Pontuação	Resultado
Até 20%	Nenhum potencial (Nenhum)
21 - 50%	Baixo potencial (Baixo)
51 - 75%	Médio potencial (Médio)
76 - 100%	Alto potencial (Alto)

Fonte: autor

Quadro 20 - Ferramenta FSB



Classificação:

Classificação	Atendimento aos critérios	Pontuação
	Não	0
	Médio	1
	Sim	3

Pontuação	Resultado
Até 20%	Nenhum potencial (Nenhum)
21 - 50%	Baixo potencial (Baixo)
51 - 75%	Médio potencial (Médio)
76 - 100%	Alto potencial (Alto)

Fonte: autor

5. CONCLUSÃO E DISCUSSÃO

Apesar de existir uma preocupação com a sustentabilidade por parte da sociedade, a construção civil ainda se comporta como grande geradora de impactos ambientais. Segundo o USGBC (2015), o ambiente construído consome 75% dos recursos naturais, 20% da água das cidades e gera 80 milhões de toneladas de resíduos por ano.

A construção e manutenção dos edifícios representa um consumo de aproximadamente 40% da energia primária mundial. Juntamente às edificações, a população está consumindo mais energia, que está, por sua vez, ficando cada vez mais cara; em 2015 por exemplo, percebeu-se um aumento de 40% do preço da energia no Brasil.

Entretanto, o país está evoluindo neste tema. Nesta última década, foi publicada a norma 15575, versando sobre o desempenho de edifícios habitacionais, e paralelamente a ela o RTQ.R - Regulamento técnico da qualidade para o nível de eficiência energética em edificações residenciais. Ambos analisam se a edificação é eficiente, permitindo a obtenção da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE). Atualmente a ENCE é voluntária, mas logo deve se tornar obrigatória (CHVATAL; RORIZ, 2015).

Segundo o USGBC, o edifício eficiente, em comparação aos convencionais, possui um custo de construção de 2 a 7% mais alto, porém apresenta uma média de economia de 30% de energia e 30 a 50% de água, além de chegar a emitir 35% a menos de carbono e produzir 90% a menos de resíduos. Analisando o custo de uma obra, 20% é custo de construção e 80% de operação e manutenção. Então, se considerar a vida útil de uma edificação, economizar 1% na operação é válido. Por conseguinte, o investimento em atitudes que visem a sustentabilidade, além de ser ambiental e socialmente viável, é economicamente interessante devido ao retorno financeiro ao longo do tempo.

No ambiente construído, para que um espaço seja frequentado é imprescindível que o ambiente apresente características de conforto. Se o espaço não for confortável ao homem, esse ambiente está condenado ao abandono ou a

usos que não foram previstos. Por isso, estudar relações de conforto ambiental nas edificações é fundamental a qualquer empreendimento.

Contudo, são poucos os edifícios atuais capazes de proporcionar conforto térmico aos seus usuários sem a dependência da energia para ar-condicionado para resfriamento ou calefação. Portanto, um ambiente construído independente desta energia é um desafio que enfrenta os projetistas atuais.

É com este foco que este trabalho foi desenvolvido, promover um ambiente construído mais sustentável, um maior conforto térmico e junto a ele uma alta eficiência energética. A inspiração na natureza, ou biomimetismo, vem como resposta à estes objetivos.

Um dos grandes benefícios que pode ser encontrado na biomimética é a vasta possibilidade de geração de novas tecnologias e materiais. Na atuação em relação aos mesmos problemas de design, os produtos biomiméticos normalmente apresentam uma melhora nas qualidades sustentáveis em comparação à produtos pensados na maneira clássica de desenvolvimento.

Hoje a biomimética é aplicada em soluções de design de maneira praticamente espontânea. O objetivo da pesquisa foi então desenvolver uma ferramenta para tentativa de sistematização deste processo, relacionando as soluções biológicas aos créditos dos sistemas de certificação ambiental para edificações. Desta forma acredita-se que os produtos resultados desta análise atinjam soluções mais ambientalmente corretas e que atendam aos créditos dos sistemas de certificação, facilitando à edificação a que pertençam a ser certificada ou ao menos mais sustentável.

A ferramenta deverá ser analisada dentro de uma das fases do processo de desenvolvimento de produto. O processo inicia-se normalmente e, na segunda fase, a informacional, se for definido que se deseja desenvolver um produto biomimético, a aplicação da metodologia da biomimética é inserida nesta fase do projeto. Então, na fase de pesquisa da metodologia da biomimética, analisa-se a ferramenta para que se escolha as melhores estratégias naturais candidatas para biomimetização na resolução do problema inicial.

Inicialmente a ferramenta deve ser preenchida, tanto em suas linhas como em suas colunas. Deve-se expor primeiro o clima do local do projeto, para então selecionar qual o objetivo do produto e o problema de design a ser solucionado. Posteriormente elenca-se quais estratégias das soluções naturais atingem estes

objetivos espontaneamente, e quais os créditos dos sistemas de certificação versam sobre o mesmo problema. Para assim, classificar as soluções naturais de acordo com os seus potenciais atendimentos aos créditos. A classificação da ferramenta é feita preferencialmente por uma equipe multidisciplinar, envolvendo designers, arquitetos, engenheiros, biólogos e afins.

A ferramenta indica soluções como fonte de inspiração, servindo para análise por profissionais das diversas áreas de conhecimento. Os usuários podem se inspirar para inovar no desenvolvimento de novos produtos sustentáveis, biomiméticos, eficientes energeticamente e que promovem o conforto térmico interior. Estes produtos biomiméticos resultado promovem então o melhor desempenho ambiental dos edifícios.

A ferramenta, definida preliminarmente neste trabalho, possui uma formatação mutável, podendo apresentar outras categorias destes sistemas de certificação, ou até outros sistemas; outros objetivos para as funções biológicas, ou até mesmo outras soluções naturais dentro do mesmo objetivo, a termorregulação no caso desta pesquisa, uma vez que a natureza apresenta milhões de espécies como fonte de dados.

Outro ponto percebido é o de que existem milhões de espécies na natureza, mas não existem milhões de soluções; mesmo em organismos totalmente diferentes, as soluções são muito recorrentes. Então identificar na ferramenta estas soluções genéricas, seus princípios funcionais, permite notar que as soluções biológicas resolvem, de maneira quase sempre igual, naturalmente seus problemas. Se inspirar nelas, e de maneira sistemática, é uma enorme fonte de idéias de design.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A ferramenta é apresentada neste momento de forma preliminar, então sugere-se aprofundar mais os estudos e aprimorar esta fonte de inspiração para desenvolvimento de produtos.

Estima-se a existência de 30 milhões de espécies na natureza, então a fonte de dados deve crescer continuamente. Caracterizando as diversas estratégias biológicas como realizado na ferramenta, possibilita a busca em uma grande base

de dados, apenas limitada em tamanho pela quantidade de conhecimento biológico que existe.

Os trabalhos futuros podem estudar outros sistemas de certificação, outros créditos dos mesmos sistemas ou até mesmo outras categorias, dependendo do objetivo e problema proposto. Sugere-se também o desenvolvimento de um software / aplicativo, que utilize a estrutura da ferramenta FBS para inter-relacionar possíveis soluções biológicas com os requisitos dos sistemas de certificação ambiental, indicando caminhos para soluções biomiméticas e auxiliando no processo de desenvolvimento de novos produtos.

Outra sugestão para trabalhos futuros seria a formatação da ferramenta de maneira mais orgânica, mais fluida. Até por ser uma ferramenta inspirada em soluções naturais e na área do design, ambas praticantes das formas orgânicas e dinâmicas.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2003. 66f.

ABNT. **NBR 15575**: Edifícios habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

ABNT. **NBR 16401**: Instalações de ar condicionado - Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.

ANEEL. **Matriz de Energia Elétrica**. ANEEL. 2016. Disponível em :<<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>, Acesso em: 08 jan. 2016.

AGOPYAN, Vahan; JOHN, Vanderley M. **O desafio da sustentabilidade na construção civil** - vol 5. São Paulo: Blucher, 2011.

ASKNATURE. Disponível em :<<http://www.asknature.org>>, Acesso em: 18 out. 2015.

BAXTER, Mike. **Projeto de Produto**: guia prático para o design de novos produtos. - 2a ed. rev. - São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BEN. **Desempenho energético operacional em edificações e medidores inteligentes** - apresentação de resultados. 2014. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br/BENRelatorioSintese.aspx?anoColeta=2015&anoFimColeta=2014>>, Acesso em: 08 jan. 2016.

BENYUS, Janine. **Innovation inspired by nature**. - Ed. digital - HapperCollins e-books, 2009.

BIOMIMICRY. **Case studies**. Biomimicry Institute. 2014. Disponível em: <<http://www.biomimicryinstitute.org/case-studies/case-studies/energy-efficiency.html>>. Acesso em 15 jun. 2014.

BIOMIMICRY 3.8. Disponível em: <<http://biomimicry.net/>>. Acesso em: 28 abr 2014.

CAMARGO, Maytê G. P. de; PELEGRINI, Alexandre V. Biomimetismo aplicado ao design sustentável no ambiente construído: uma revisão bibliográfica sistemática. *In*:

Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, n.4, v.1, p. 2102-2113. **Anais**, Gramado, 2014.

CHENG, Lin Chin; FILHO, Leonel D. R. M. **QFD** – Desdobramento da função qualidade na gestão de desenvolvimento de produtos. São Paulo: Editora Blucher, 2007.

CHVATAL, Karin M. S; RORIZ, Victor F. Avaliação do desempenho térmico de habitações segundo a ABNT NBR 15575. Em: **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras** - manutenção e percepção dos usuários, p.41-54. Porto Alegre: ANTAC, 2015.

CONFORTO, Edivandro C.; AMARAL, Daniel C.; SILVA, Sérgio L. da. Roteiro para Revisão Bibliográfica Sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. *In*: Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto, n. 8, p.1-12. **Anais**, Porto Alegre, 2011.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos** - conforto ambiental. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

COSTA, Ennio Cruz da Costa. **Física aplicada à construção** - Conforto térmico. 4 ed. São Paulo: Blucher, 1991.

DESIGN INSITE. **Methods: Bio-inspired Design (BID)**. *Design InSite*. 2014. Disponível em: <<http://www.designinsite.dk/bid/index.html>>. Acesso em: 01 dez. 2014.

DELDIN, Jon-Michael; SCHUKNECHT, Megan. *The Asknature database: enabling solutions in biomimetic design*. *In: Biologically inspired design: Computational methods and tools*, p.17-27. Londres: Springer, 2014.

DETANICO, F. B.; TEIXEIRA, F. G.; SILVA, T. K. **A Biomimética como método criativo para o projeto de produto**. Design & Tecnologia, n. 02. Pgdesign - UFRGS, 2010.

ELETROBRAS. **Eficiência energética**: um grande desafio na construção civil. 2015. Disponível em: < <http://www.elektrobras.com/PCI/main.asp?View=%7B8D1AC2E8-F790-4B7E-8DDD-CAF4CDD2BC34%7D&Team=¶ms=itemID=%7B7BD78F14-2339-44FD-BCBA-6D46739FC56E%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>> Acesso em: 25 fev 2015.

EL-ZEINY, Rasha Mahmoud Ali. *Biomimicry as a problem solving methodology in interior architecture*. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, n.50, p.502-512, 2012.

FALUDI, J. ***Biomimicry for Green Design (a how to)***. *World Changing*, 2005. Disponível em: <<http://www.worldchanging.com/archives/003680.html>>. Acesso em 28 abr. 2014.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. 8 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2003.

GBC Brasil. **Certificação LEED**. Green Building Council Brasil. 2015. Disponível em: <<http://www.gbcbrazil.org.br/sobre-certificado.php>>. Acesso em: 19 fev. 2015.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. - 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002.

GIUREA, Diana. *A Didactic Method for Transposing Natural Forms in Architecture*. **Procedia – Social and Behavioral Sciences**, n.116, p. 3165-3168, 2014.

GRAF, Helena Fernanda. **Transmitância térmica & energia incorporada na arquitetura**: sua relação nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a Norma NBR 12721. 2011. 160f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil.

GRUBER, P.; IMHOF, B. *Transformation: Structure / space studies in bionics and design*. **Acta Astronautica**, n.60, p. 561-570, 2007.

HILGENBERG, Fabiola Brenner. **Sistemas de certificação ambiental para edifícios** - Estudo de caso: AQUA. 2010. 153f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil.

HOELLER, Norbert; GOEL, Ashok; FREIXAS, Catalina; et al.. *Developing a common ground for learning from nature*. **Zygote Quarterly**, n.7, p.134-145, 2010.

IPAM. **ABC do Clima**. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. 2015. Disponível em: <<http://www.ipam.org.br/abc/mudancas>>. Acesso em: 27 maio 2015.

JOHN, Godfaurd; CLEMENTS-CROOME, Derek; JERONIMIDIS, George. *Sustainable Building Solutions: a review of lessons from the natural world*. **Building and Environment**, n. 40, p. 319-328, 2005.

KINDLEIN, Wilson Jr.; GUANABARA, Andréa S. *Methodology for product design based on the study of bionics*. **Materials & Design**, n.26, p. 149-155, 2005.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. - 2.ed - São Paulo: ProLivros, 2004.

LIMA, Lucimeire P de. **Clima e forma urbana**: Métodos de avaliação do efeito das condições climáticas locais nos graus de conforto térmico e no consumo de energia elétrica em edificações. 2005. 152f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia.

MANZINI, E.; VEZZOLI, C. **O desenvolvimento de produtos sustentáveis**: os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. - 5. ed - São Paulo: Atlas, 2003.

MCKEAG, Tom. **Adapting to climate change: Lessons from Mother Nature**. In: The biomimicry column. Green biz, 2014. Disponível na internet por http em: <<http://www.greenbiz.com/blog/2014/04/01/adapting-climate-change-lessons-mother-nature>>. Acesso em 20 fev 2015.

MNN. **Amazing examples of biomimicry**. Mother Nature Network. Disponível em: <<http://www.mnn.com/earth-matters/wilderness-resources/photos/7-amazing-examples-of-biomimicry/termite-den-office-buildi>>. Acesso em 31 jul 2014.

MTPS. **NR 17**: Ergonomia. Ministério do Trabalho e Previdência Social, 2007.

NERBAS, Patricia de F. **Estudo Arquitetônico para gestores imobiliários**. Curitiba: IESDE Brasil, 2012.

OECD. **Design of Sustainable Building Policies: Scope for Improvement and Barriers**. Organisation for Economic Co-operation and Development. Disponível em:

<<http://www.oecd.org/env/consumption-innovation/1936478.pdf>>. Acesso em 12 fev 2015.

PAIXÃO, Marcia V. **Desenvolvendo novos produtos e serviços**. Curitiba: IBPEX, 2007.

PANDREMENOS, J.; VASILADIS, E.; CHRYSSOLOURIS, G. Design Architectures in Biology. **Procedia CIRP**, n. 3, p. 448-452, 2012.

PAWLYN, Michael. **Biomimicry in architecture**. Riba Publishing, 2011.

PAWLYN, Michael. **Biomimicry in Architectural design**. *Presentation from Velux Daylight Symposium*, 2013. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=wdoriWPaaDI>>. Acesso em 30 abr 2014.

PRODANOV, Cleber C. **Metodologia do Trabalho Científico** [recurso eletrônico]: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico / Cleber Cristiano Prodanov, Ernani Cesar de Freitas – 2. ed – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

REDDI, Srikanth; JAIN, Arun; YUN, Hae-Bum et al.. *Biomimetics of stabilized earth construction: Challenges and opportunities*. **Energy and Buildings**, n. 55, p.452-458, 2012.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão do processo de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Ed. Saraiva, 2006.

SANTOS, Jaques J. do P. **Biomimetismo**: Como imitar a natureza na arquitetura. 2009. 186f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.

SATTler, A.; et al.. **Aplicação de tecnologias sustentáveis em um conjunto habitacional de baixa renda**. In: Formoso, C. T.; INO, A. Inovação, Gestão da Qualidade e Produtividade e Disseminação do Conhecimento na Construção Habitacional. Porto Alegre: HABITARE, 2003.

SCHMID, Aloísio L. **A idéia de conforto** - Reflexões sobre o ambiente construído. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005.

SILVA, Roberto Caldeira da. **Proposta de Melhorias para a fase de projetos de edificações públicas sob o foco da sustentabilidade ambiental**: Estudo de caso de um edifício de uma Instituição Federal de Ensino Superior (IFES) de acordo com o sistema de certificação LEED. 2012. 174f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil.

SILVA, Vanessa G. **Metodologias de avaliação de desempenho ambiental de edifícios: estado atual e discussão metodológica**. Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. Projeto FINEP 2386/04. São Paulo, 2007.

SOARES, Marina Arminda Ribeiro. **Biomimetismo e Ecodesign**: Desenvolvimento de uma ferramenta criativa de apoio ao design de produtos sustentáveis. 2008. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

SZOKOLAY, Steven V. **Introduction to Architectural Science - The Basis of Sustainable Design**. 2a. edição. 2010.

TAKAHASHI, S. & TAKAHASHI, V. P. **Gestão de inovação de produtos**: estratégia, processo, organização e conhecimento. Rio de Janeiro: Editora Campus, 2007.

TOLMASQUIM, Mauricio; GUERREIRO, Amilcar; GORINI, Ricardo. Matriz energética brasileira: uma perspectiva. Em: **Novos Estudos**. São Paulo: CEBRAP, 2007.

USGBC, 2015. **Certificação LEED**. Green Building Council. 2015. Disponível em: <<http://www.usgbc.org/>>. Acesso em: 10 dez. 2015.

VANDEVENNE, D.; VERHAEGEN, P.-A.; DEWULF, S.; DUFLOU, J.R. A scalable approach for the integration of large knowledge repositories in the biologically-inspired design process. In: International Conference on Engineering Design, n.11. **Anais**, Dinamarca, 2011.

VANZOLINI, Fundação. Disponível em: <vanzolini.org.br/certificacao/catalogo/construcao-sustentavel> Acesso em: 30 set 2015.

WORLDWATCH INSTITUTE. **Estado do mundo 2013**: A sustentabilidade ainda é possível? Salvador, 2013.

ANEXO A

Documentos enviados aos pesquisadores com os resultados encontrados pelo autor, versão preliminar da ferramenta e questionário padrão

Prezado profissional,

Meu nome é Mayte Camargo, sou arquiteta e aluna de mestrado em Design na UFPR. Estou escrevendo minha dissertação sobre o Biomimetismo, Eficiência Energética e Conforto térmico, e gostaria muito que o(a) senhor(a) pudesse contribuir com seus conhecimentos. O orientador desta pesquisa é o Professor Alexandre Pelegrini, coordenador do curso de Design na UTFPR.

TÍTULO: DESIGN DE PRODUTOS BIOMIMÉTICOS VISANDO A SUSTENTABILIDADE NAS EDIFICAÇÕES: Ferramenta de Solução Biomimética Orientada pelos Sistemas de Certificações Ambientais

INTRODUÇÃO

- Como consumir menos energia e manter o conforto térmico no ambiente interior?

Uma resposta encontrada foi na ciência da biomimética (do grego - imitação da natureza). **Imitação do princípio da natureza**, de como a natureza resolve seus problemas e funções, e não simplesmente imitação da sua forma ou cor.

O problema é que hoje o biomimetismo é feito na maioria das vezes de forma espontânea.

- Então como poderíamos sistematizar este processo de biomimetização?

OBJETIVO GERAL: desenvolver uma ferramenta de projeto, relacionando os requisitos técnicos de energia e de conforto térmico, definidos pelos sistemas de certificação ambiental LEED-CS e AQUA-HQE, aos princípios naturais de função termorreguladora, como exemplo os encontrados no portal de pesquisa *Asknature*, promovendo **o norteamento do desenvolvimento de novos produtos biomiméticos, termorreguladores e sustentáveis**. Estes produtos poderiam amparar às edificações a que pertencem a serem mais sustentáveis, e quem sabe

certificadas. Esta ferramenta poderá, futuramente, sistematizar o processo de biomimetização. Contudo, já permite **demonstrar alguns caminhos a serem seguidos e facilitar, pelos profissionais do ambiente construído, a identificação de estratégias naturais candidatas à biomimetização na resolução dos seus problemas de design.**

DELIMITAÇÃO DO TRABALHO:

- a) A certificação LEED possui vários desmembramentos e o mais relacionado ao assunto é o que permite a análise da envoltória da edificação (LEED-CS - *Core and Shell*), uma vez que o trabalho trata de fachadas, seu isolamento e conforto térmico;
- b) A certificação AQUA-HQE apresenta referenciais para avaliação da qualidade ambiental de edifícios residenciais e não residenciais. Para delimitação, trabalha-se com o referencial para edifícios residenciais.
- c) O estudo refere-se apenas aos requisitos relacionados ao assunto dentro das categorias de Energia e Conforto térmico dos sistemas de certificação LEED-CS e AQUA-HQE. Para ambos os sistemas, foram utilizadas as versões em vigor nas datas de pesquisa para a fundamentação teórica;
- d) Na natureza conhece-se 1,7 milhões de espécies, e chega-se a estimar que exista em torno de 30 milhões. Das conhecidas, afirma-se que poucas foram estudadas a fundo. Isto posto, uma vantagem da inspiração em processos naturais é a de que a fonte de dados pode crescer contínua e imensamente. O problema é que muitas vezes a terminologia utilizada no mundo biológico e no mundo da engenharia é totalmente diversa (VANDEVENNE, 2011; DELDIN; SCHUKNECHT, 2014). Então, para exemplificação do uso da ferramenta, trabalha-se apenas com as estratégias listadas no portal de pesquisas *Asknature*, uma vez que o mesmo possui uma linguagem adaptada ao ambiente construído, seu conteúdo é de livre acesso e a maioria das suas publicações é proveniente de periódicos revisados por pares; e, ainda dentro das coleções do portal, trabalha-se somente com as estratégias que se referem diretamente à termorregulação, ou seja: *cooling down in the heat* (esfriando no calor) e *staying warm in the cold* (se mantendo quente no frio) (ASKNATURE, 2015, livre tradução).

ETAPAS PARA PROPOSTA DA FERRAMENTA DE PROJETO DE PRODUTO BIOMIMÉTICO

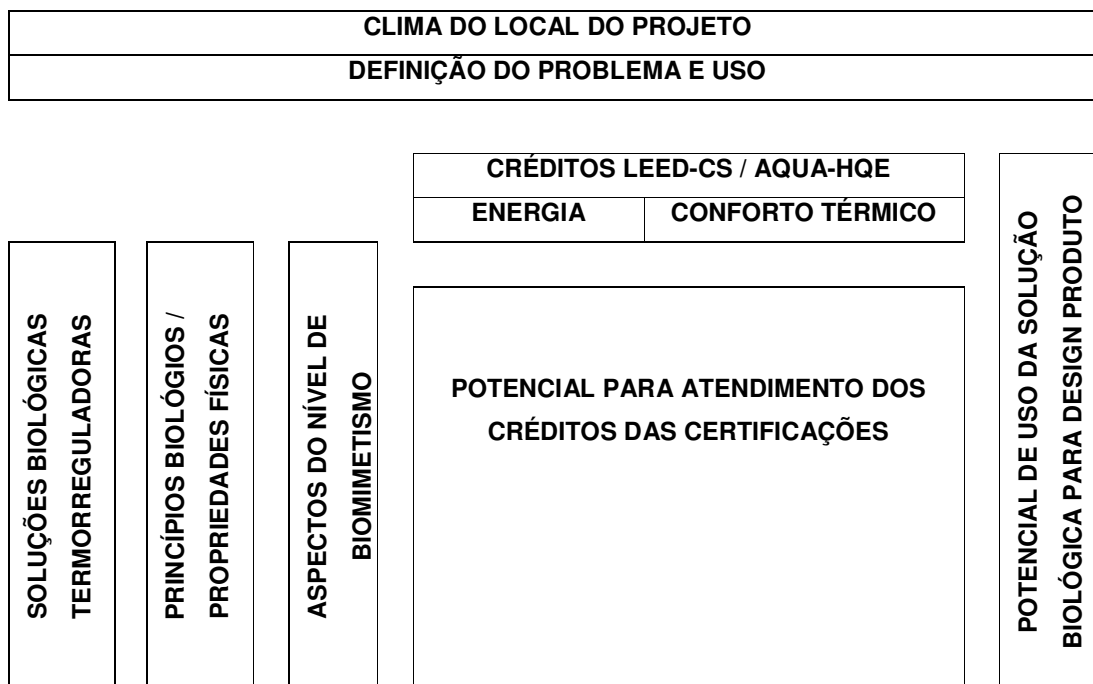
Na ferramenta, o usuário, preferencialmente composto por uma equipe multidisciplinar (arquitetos, designers, engenheiros, biólogos e afins), inicia assinalando o clima do local do projeto, expondo seu problema de design e definindo o uso que pretende atingir com o desenvolvimento do novo produto biomimético.

Em seguida elenca as estratégias naturais que deseja estudar. Neste caso coloca-se como exemplo na demonstração de uso da ferramenta, as termorreguladoras do portal de pesquisas *Asknature*, define as propriedades físicas e classifica as soluções naturais de acordo com os aspectos do nível de biomimetismo. Posteriormente, seleciona quais créditos, critérios e pré-requisitos dos sistemas de certificação são considerados importantes para resolver o problema proposto. E então classifica os diversos princípios naturais de acordo com o seu potencial para atender aos requisitos técnicos selecionados dos sistemas de certificação. Esta análise facilita a identificação de estratégias naturais candidatas à biomimetização na resolução do problema de design em relação a regulação térmica.

FORMATAÇÃO BASE DA FERRAMENTA

Devido a existência de quase infinitas soluções naturais e de que os sistemas de certificação ambiental passam por constantes revisões, esta ferramenta não pode apresentar formatação fixa, ela sempre estará em crescimento e mutação. Contudo, como ferramenta de projeto versão inicial, a sua formatação base é apresentada no quadro 1.

Quadro 01 - Formatação base da FSB



Fonte: autor

DEMONSTRAÇÃO DE USO DA FERRAMENTA PARA PRODUTO PARA FACHADA ISOLANTE TÉRMICO

Para tanto, analisa-se quais os requisitos, créditos ou critérios dos sistemas de certificação serão inseridos na análise e quais as estratégias termorreguladoras do portal de pesquisas *Asknature* serão utilizadas na ferramenta.

REQUISITOS DE ENERGIA E CONFORTO TÉRMICO DAS CERTIFICAÇÕES LEED-CS E AQUA-HQE

Análise se os critérios, créditos e pré requisitos devem ou não ser inseridos na ferramenta exemplo.

Quadro 02 - Quadro analisado pelo autor dos créditos de Energia do sistema de certificação LEED-CS

Produto para bom comportamento térmico em fachadas				
Certificação	Pré-Requisitos e Créditos	Resumo pelo autor	Indicado para inserção na ferramenta, segundo o autor	Por que? (somente em caso de não)
LEED-CS - Energia e Atmosfera	Comissionamento dos sistemas de energia (PR1)	Executar um planejamento dos gastos energéticos da edificação e medir pós obra se cumpre o planejamento	Não	Mimetização dos sistemas naturais não teria como ser analisada para medição
	Performance mínima de energia (PR2)	Consumir menos energia	Sim	
	Gestão fundamental de gases refrigerantes (PR3)	Utilização de sistemas Zero CFC	Não	A princípio todos os sistemas naturais são Zero CFC
	Otimização da performance energética (créd. 1)	Aperfeiçoamento do PR2	Não	Somente aperfeiçoamento de item já inserido
	Energia renovável no local (créd. 2)	Aumentar o uso e o fornecimento de energia renovável produzida no local da obra, podendo ser: fotovoltaico, eólico, solar térmico,...	Não	Foco no desempenho térmico e não na produção de energia
	Melhoria no comissionamento (créd. 3)	Aperfeiçoamento do PR1	Não	Idem PR1
	Melhoria na gestão de gases refrigerantes (créd. 4)	Aperfeiçoamento do PR3	Não	Idem PR3
	Medições e Verificações (créd. 5.1 e 5.2)	Previsão do consumo energético contínuo ao longo do tempo	Não	Mimetização dos sistemas naturais não teria como ser analisada para medição
	Energia Verde (créd. 6)	Utilização de energia renovável em base de poluição zero	Não	Foco no desempenho térmico e não na energia renovável

*PR - pré requisito

Fonte: autor, com base em GBC Brasil (2015)

Quadro 03 - Quadro analisado pelo autor dos créditos de Energia do sistema de certificação AQUA-HQE

Produto para um bom comportamento térmico em fachadas				
Certificação	Créditos	Resumo pelo autor	Indicado para inserção na ferramenta, segundo o autor	Por que? (somente em caso de não)
AQUA-HQE - Gestão da energia	Concepção térmica (créd. 4.1)	Utilização e melhoria da envoltória para limitar desperdícios de energia e de acordo com a zona climática do empreendimento	Sim	
	Redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão (créd. 4.2)	Reduzir o consumo de energia e desempenho para os sistemas de aquecimento e resfriamento	Sim	
	Energia térmica solar e/ou painéis fotovoltaicos (créd. 4.3)	Utilização de energias renováveis locais	Não	Foco no desempenho térmico e não na energia renovável
	Desempenho do sistema para produção de água quente (créd. 4.4)	Reduzir o consumo de energia e desempenho para produção de água quente e sistemas de aquecimento e resfriamento	Não	Repetição do créd. 4.2 (sistema de aquecimento e resfriamento)
	Iluminação artificial (créd. 4.5 e 4.6)	Reduzir o consumo de energia para iluminação	Não	Não se aplica diretamente à termorregulação
	Elevador (créd. 4.7)	Reduzir o consumo de energia no uso do elevador	Não	Não se aplica à termorregulação
	Redução do consumo de energia dos demais equipamentos (créd. 4.8)	Reduzir o consumo de energia para os demais equipamentos	Não	Ampliação do créd. 4.2
	Controle do consumo de energia (créd. 4.9)	Medidor individual para cada residência	Não	Mimetização dos sistemas naturais não teria como ser analisada para medição

Fonte: autor, com base em Vanzolini (2015)

Quadro 04 - Quadro analisado pelo autor dos créditos de Qualidade Ambiental Interna do sistema de certificação LEED-CS

Produto para um bom comportamento térmico em fachadas				
Certificação	Pré-Requisitos e Créditos	Resumo pelo autor	Indicado para inserção na ferramenta, segundo o autor	Por que? (somente em caso de não)
LEED-CS - Qualidade Ambiental Interna - Conforto térmico	Desempenho mínimo da qualidade do ar interno (PR1)	Obedecer uma performance mínima de qualidade do ar interno	Sim	
	Controle da fumaça do cigarro (PR2)	Evitar a fumaça do cigarro	Não	Não se aplica à termorregulação
	Monitoramento do ar externo (créd.1)	Monitoramento dos sistemas de ventilação	Não	Mimetização dos sistemas naturais não teria como ser analisada para monitoramento
	Aumento da ventilação (créd.2)	Promover ventilação adicional	Sim	
	Plano de gestão de qualidade do ar (créd.3)	Gestão para melhorar a qualidade do ar durante a construção ou reforma	Não	Mimetização dos sistemas naturais não teria como ser analisada para gestão
	Materiais de baixa emissão (créd. 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4)	Utilizar materiais de baixa emissão	Não	Não se aplica à termorregulação
	Controle Interno de Poluentes e produtos químicos (créd. 5)	Minimizar a exposição à poluentes químicos	Não	Não se aplica à termorregulação
	Controle de sistemas - Conforto térmico (créd.6)	Promover um controle individual de conforto térmico	Não	Mimetização dos sistemas naturais não teria como ser analisada para controle
	Conforto térmico - Projeto (créd.7)	Fornecer um ambiente confortável termicamente	Sim	
	Iluminação natural e paisagem (créd.8.1 e 8.2)	Fornecer ambientes com iluminação natural e vista externa	Não	Não há como relacionar às estratégias de termorregulação

*PR - pré requisito

Fonte: autor, com base em GBC Brasil (2015)

Quadro 05 - Quadro analisado pelo autor dos créditos de Conforto Higrotérmico do sistema de certificação AQUA-HQE

Produto para um bom comportamento térmico em fachadas				
Certificação	Créditos	Resumo pelo autor	Indicado para inserção na ferramenta, segundo o autor	Por que? (somente em caso de não)
AQUA-HQE - Conforto Higrotérmico	Implantação de medidas arquitetônicas para otimização do conforto higrotérmico de verão e de inverno (créd. 8.1)	Concepção arquitetônica adequada às características do local	Sim	
	Conforto em período de inverno (créd. 8.2)	Atendimento ao desempenho mínimo para condições de inverno	Não	Aperfeiçoamento de item já inserido
	Conforto em período de verão (créd. 8.3)	Atendimento ao desempenho mínimo para condições de verão	Não	Aperfeiçoamento de item já inserido
	Medida do nível de higrometria (créd. 8.4)	Fazer a medição individual de cada casa	Não	Mimetização dos sistemas naturais não teria como ser analisada para medição

Fonte: autor, com base em Vanzolini (2015)

SOLUÇÕES BIOLÓGICAS TERMORREGULADORAS DO ASKNATURE X PRINCÍPIOS NATURAIS

Para exemplificação da ferramenta trabalha-se com um exemplo de cada princípio colocado no portal de pesquisas, possibilitando a elaboração do quadro 6, que apresenta também exemplos de aplicações possíveis para o ambiente construído, tanto para a arquitetura das edificações, quanto para o design de produtos.

Quadro 06 - Seleção de algumas estratégias de termorregulação do *Asknature*, seus princípios, propriedades físicas e aplicações para o ambiente construído

Natureza	Estratégias de termorregulação	Princípio biológico / Propriedades físicas	Algumas aplicações possíveis no ambiente construído
Cupim	Ventilação passiva pelos túneis do ninho (arquitetura interna)	Ventilação passiva	Sistema de ventilação da edificação projetado com os mesmos princípios
Carrapato	Utilização do vapor de água da atmosfera como se fosse água	Produção de água / mudança de fase	Captação do vapor de água da atmosfera e transformação em líquido
Hipopótamo	Secreção na pele o protege do sol intenso	Secreção da pele / aumento da espessura da camada ou alteração para baixa absorvidade	Algum tipo de produto que possa ser aplicado nas fachadas que funcione como um "protetor solar"
Aves <i>caprimulgidae</i>	Vibração gular dissipa o calor por evaporação	Evaporação de água / mudança de fase	Através da vibração, evaporar água no ambiente, esfriando-o
Tenrecídeos	Sobrevivem ao clima quente por entrar em estado de estivação	Estivação (estado do dormência)	Desenvolver uma espécie de estado de estivação na edificação, onde consuma menos energia
Cacto	Estrutura possui filetes para sombra	Obstáculo para sombra	<i>Brise-soleil</i>
Estrela-do-mar	Armazena água na maré alta para ajudar na maré baixa e exposição ao sol	Armazenamento de água	Nos dias de chuva captar a água da chuva e manter nas fachadas para se proteger nos dias de calor intenso
Gazela-de-thomson	Circulação sanguínea refrigera seu cérebro na fuga de predadores	Forma da vascularização e circulação	Sistemas para resfriamento de fachadas através de canos de água gelada embutidos nas paredes

....

Fonte: autor, com base em *Asknature* (2015)

EXEMPLO DA FERRAMENTA APLICADA PARA PRODUTO ISOLANTE TÉRMICO PARA FACHADAS

A ferramenta permite classificar as soluções naturais. A classificação sugerida é feita de forma subjetiva e realizada pelos usuários da ferramenta. O autor indica utilizar a mesma forma de classificação do sistema AQUA, que classifica de acordo com, se inspirado para soluções humanas, qual seria o seu potencial para atingir o os créditos dos sistemas de certificação:

Quadro 7 - Classificação proposta

Classificação	Classificação inspirada no sistema AQUA que deve ser atribuída às soluções biológicas pelo usuário após análise
Nenhum potencial	NC (Não conforme)
Baixo potencial	B (Base)
Médio potencial	BP (Boas práticas)
Alto potencial	MP (Melhores práticas)

EXEMPLO:

CLIMA DO LOCAL DO PROJETO: Clima temperado / Temperaturas médias: Inverno - 8° a 19°C e Verão - 16° a 27°C.

PROBLEMA DE DESIGN - Promover um ambiente construído mais eficiente energeticamente, através do desenvolvimento de um produto para fachadas.

Resumo do PDP:

❖ Fase Pré

- Planejamento estratégico do produto / planejamento do projeto - desenvolver um produto biomimético para fachadas e isolante térmico.

❖ Fase desenvolvimento

- Projeto Informacional

Produto biomimético / eficiente energeticamente / sustentável / regulador térmico / facilite a edificação a que pertence a ser certificada.

Aplicação da **METODOLOGIA DA BIOMIMÉTICA:**

- Definição do problema - promover um ambiente construído mais eficiente energeticamente, através do desenvolvimento de um produto

biomimético para aplicação em fachadas e isolante térmico. Utilizar os sistemas de certificação LEED-CS e AQUA-HQE como norteadores do processo.

- Pesquisa - Encontrar na ferramenta os equivalentes biológicos que mais atenderiam.

*VER QUADRO 08

- Análise - Selecionar as espécies a serem analisadas / análise dos princípios funcionais biológicos (selecionar espécies MP):
 - ♦ Cacto: obstáculo para sombra
 - ♦ Gazela de thomson: forma da vascularização e circulação
 - ♦ Pinguim imperador: Organização em grupo / Camadas de ar intermediárias
 - ♦ Numbat: Organização e forma da pelagem
- Extração - Extrair os princípios.

Para o desenvolvimento do novo produto, juntamente com profissionais experientes da área biológica, se estudaria a fundo os princípios analisados na etapa anterior:

- ♦ Cacto: estrutura possui filetes para sombra - qual angulação tem estes obstáculos em relação a trajetória do sol? Como funciona?
- ♦ Gazela de thomson: Circulação sanguínea refrigera seu cérebro na fuga de predadores - qual é a disposição dos vasos sanguíneos? De que maneira se refrigeram? Poderia funcionar para calefação também? Como funciona?
- ♦ Pinguim imperador: Se protegem do frio devido ao amontoamento social / suas penas formam uma camada contínua de ar ao redor do corpo - como funciona este amontoamento? É feito de forma aleatória? A camada de ar é presente ao redor de todo o corpo do animal? Como funciona?
- ♦ Numbat: Pelagem curta e esparsa, favorece perda de calor no verão e ganho de calor no inverno - Como é organizada esta pelagem? De que cor e forma? Como funciona?
- Design - Gerar o conceito e aplicar no design do novo produto.

Após a análise biológica e de design dos princípios da etapa anterior, é possível extrair o conceito para o novo produto, inspirado pelas soluções biológicas selecionadas. Assim se torna possível o alcance da fase projetual de projeto.

- Projeto conceitual
- Projeto detalhado
- Preparação para produção
- Lançamento do produto

❖ Fase pós

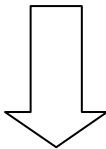
- Acompanhar produto / processo
- Descontinuar produto

Quadro 08 - Exemplo de uso da Ferramenta FSB

Soluções biológicas termorreguladoras do <i>Asknature</i>	CLIMA DO LOCAL: Clima temperado / Temperaturas médias: Inverno - 8° a 19°C e Verão - 16° a 27°C											POTENCIAL DE USO DA SOLUÇÃO BIOLÓGICA PARA INSPIRAÇÃO NO DESIGN DE PRODUTO
	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E USO: Eficiência energética através de um produto para ISOLAMENTO térmico nas fachadas											
	Soluções biológicas	Princípios biológicos / Propriedades físicas	Aspectos do nível de biomimetismo	PRINCÍPIO ATENDE PROBLEMA E USO PROPOSTO	CRÉDITOS LEED-CS / AQUA-HQE							
					ENERGIA			CONFORTO TÉRMICO				
					Performance mínima de energia	Concepção térmica	Redução do consumo de energia para os sistemas de condicionamento de ar, ventilação e exaustão	Desempenho mínimo da qualidade do ar interno	Aumento da ventilação	Conforto térmico - Projeto	Implantação de medidas arquitet. para otimização do conforto higrotérm. de verão e de inverno	
	Cupim	Ventilação passiva	Construção de abrigo Resposta ao clima por ventilação									
	Carrapato	Produção de água / mudança de fase	Adaptação à limitada oferta de recursos Técnicas de sobrevivência Sistema orgânico									
	Hipopótamo	Secreção da pele / aumento da espessura da camada ou alteração para baixa absortividade	Sistema orgânico Técnicas de sobrevivência Resposta por autoproteção	X							BP	
	Aves <i>caprimulgidae</i>	Evaporação de água / mudança de fase	Estrutura Resposta ao clima por refrigeração Sistema orgânico									
	Tenrecídeos	Estivação (estado do dormência)	Sistema orgânico Técnicas de sobrevivência Resposta por autoproteção									
Cacto	Obstáculo para sombra	Forma e volumetria Estrutura	X							MP		
Estrela-do-mar	Armazenamento de água	Técnica de sobrevivência Resposta ao clima por refrigeração Adaptação à limitada oferta de recursos	X							BP		
Gazela-de- thomson	Forma da vascularização e circulação	Sistema circulatório e respiratório Técnica de sobrevivência Interação com outras criaturas Resposta ao clima por refrigeração	X							MP		
Árvore <i>Aloe dichotoma</i>	Reflexão da luz solar - cor branca / baixa absortividade	Cor Resposta por autoproteção	X							BP		

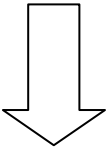
	Abelhas de mel	Produção de calor por vibração	Estrutura Movimento Resposta ao clima por calefação									
	Tipo de esquilo	Queima de gordura	Sistema orgânico Resposta ao clima por calefação									
	Pinguins imperadores	Organização em grupo / Camadas de ar intermediárias / baixa condutibilidade	Estrutura Técnica de sobrevivência Interação com outras criaturas Administração e coordenação do grupo Resposta ao clima por calefação	X								MP
	Plantas gênero <i>Lysichiton</i>	Termostato natural	Estrutura Adaptação a diferentes níveis de luz e sombra									
	Numbat	Organização e forma da pelagem / baixa absortividade, condutibilidade e aumento da espessura da camada	Forma e volumetria Estrutura Resposta ao clima por calefação e refrigeração	X								MP

em contínuo crescimento



Classificação:

Classificação	Atendimento aos critérios
	Não
	Médio
	Sim



Classificação	Classificação inspirada no sistema AQUA que deve ser atribuída às soluções biológicas pelo usuário após análise
Nenhum potencial	NC (Não conforme)
Baixo potencial	B (Base)
Médio potencial	BP (Boas práticas)
Alto potencial	MP (Melhores práticas)

Fonte: autor

Entrevistado: _____

Cargo / qualificação: _____

QUESTIONÁRIO

1- O que acha da formatação base da ferramenta? Ela pode ajudar no atendimento do objetivo geral exposto?

2- A ferramenta deve ser inserida como uma das etapas no desenvolvimento de um produto. Concorde que ela pode auxiliar e talvez no futuro sistematizar o processo de biomimetização?

3- O que acha dos créditos, critérios e pré requisitos selecionados para inserção e valorização na ferramenta exemplo, através dos quadros 2, 3, 4, 5 e 6? Outros deveriam ser inseridos?

4- E o quadro 7? Ele te inspira a projetar biomimeticamente?

5- Poderia ser de que maneira a classificação estabelecida no quadro 8? Estas soluções naturais mimetizadas e aplicadas no ambiente construído poderiam realmente atender aos créditos dos sistemas de certificação?

6- O objetivo geral seria atingido através desta ferramenta, se fosse melhor desenvolvida em estudos futuros? A ferramenta impulsiona e norteia a geração de ideias de design na sua opinião? Mesmo sabendo que os sistemas de certificação não certificam produtos, acredita que esta ferramenta poderia facilitar às edificações a obterem certificação ou ao menos serem mais sustentáveis?

Respostas e comentários em geral:

RESPOSTAS

Entrevistado: Engenheiro A

Cargo / qualificação: Engenheiro Mecânico / LEED AP BEMP - Petinelli

QUESTIONÁRIO

1- O que acha da formatação base da ferramenta? Ela pode ajudar no atendimento do objetivo geral exposto?

R: Eu acredito que os dois sistemas de certificação apresentam créditos parecidos e que se sobrepõe muitas vezes. A certificação LEED é mais abrangente e a AQUA mais específica em relação às medidas de eficiência, então acredito que ficaria melhor deixar os dois sistemas de certificação com seus créditos separados na ferramenta final. Ou até mesmo separá-los por finalidade, como: envoltória, iluminação, HVAC e equipamentos.

O LEED-CS também seria o mais aproximado aos objetivos da pesquisa, uma vez que, segundo a autora, o trabalho é mais focado para as edificações residenciais multifamiliares (uma vez que seleciona as mesmas na certificação AQUA).

2- A ferramenta deve ser inserida como uma das etapas no desenvolvimento de um produto. Concorde que ela pode auxiliar e talvez no futuro sistematizar o processo de biomimetização?

R: Sim. Não conhecia o nome biomimética, mas me interessou bastante e creio que a ferramenta poderia auxiliar este processo.

3- O que acha dos créditos, critérios e pré requisitos selecionados para inserção e valorização na ferramenta exemplo, através dos quadros 2, 3, 4, 5 e 6? Outros deveriam ser inseridos?

R: Como especialista em LEED, analisei os quadros 3 e 5. Acredito ser importante inserir o crédito de "gestão fundamental de gases refrigerantes" para Energia e Atmosfera. E o crédito de "controle de sistemas - conforto térmico" para a Qualidade Ambiental Interna.

4- E o quadro 7? Ele te inspira a projetar biomimeticamente?

R: Sim.

5- Poderia ser de que maneira a classificação estabelecida no quadro 8? Estas soluções naturais mimetizadas e aplicadas no ambiente construído poderiam realmente atender aos créditos dos sistemas de certificação?

R: Acredito que esta classificação de forma subjetiva é um pouco preocupante para algo que pretende sistematizar um processo. Mas da mesma forma acredito que para início desta ferramenta, esta análise está de acordo com a pesquisa.

6- O objetivo geral seria atingido através desta ferramenta, se fosse melhor desenvolvida em estudos futuros? A ferramenta impulsiona e norteia a geração de ideias de design na sua opinião? Mesmo sabendo que os sistemas de certificação não certificam produtos, acredita que esta ferramenta poderia facilitar às edificações a obterem certificação ou ao menos serem mais sustentáveis?

R: Com certeza. Acredito que a ferramenta poderia auxiliar na criação de produtos que poderiam fazer parte até mesmo de créditos de inovação em design do LEED.

Entrevistado: Designer B

Cargo / qualificação: Participante de uma escola de Formação em Ecodesign, Biomimetismo, Métodos para o Design Sustentável e outros cursos e práticas ligados a sustentabilidade

QUESTIONÁRIO

1- O que acha da formatação base da ferramenta? Ela pode ajudar no atendimento do objetivo geral exposto?

R: Eu achei esta ferramenta bem interessante. O fato de perceber algum elemento da natureza e já trazer o seu aspecto funcional, como o princípio biológico, na minha opinião é o que mais importa neste resultado, ou seja listar estas soluções e colocar quais são os princípios que atingem a termorregulação nas soluções naturais. No trabalho é colocado como objetivo atingir os sistemas de certificação, mas, na minha opinião, o que vai inspirar e trazer a funcionalidade é o aspecto dos princípios, e, se atingir ou não a certificação, nem é tão importante. O que considero importante é a inovação que estes produtos trariam e o potencial que têm de trazer soluções humanas mais adequadas à natureza.

2- A ferramenta deve ser inserida como uma das etapas no desenvolvimento de um produto. Concorde que ela pode auxiliar e talvez no futuro sistematizar o processo de biomimetização?

R: Sim, com certeza. Quando é proposta esta ferramenta, está se usando um banco de idéias, que é o Asknature. Da maneira como foi feito no trabalho, está bem didático, fazendo com que o usuário ganhe liberdade, entenda o biomimetismo e comece a observar até outras soluções naturais, dependendo da sua criatividade.

3- O que acha dos créditos, critérios e pré requisitos selecionados para inserção e valorização na ferramenta exemplo, através dos quadros 2, 3, 4, 5 e 6? Outros deveriam ser inseridos?

R: Não entendo sobre certificação ambiental para edificações.

4- E o quadro 7? Ele te inspira a projetar biomimeticamente?

R: Sim, sem dúvida. Está bem inspirador. Mas melhor ainda é trazer o banco de inspirações. Divulgar que existe esta fonte de pesquisa e de que ela trabalha de

maneira colaborativa. Inclusive acredito ser bem importante inserir também fotos dos princípios biológicos.

5- Poderia ser de que maneira a classificação estabelecida no quadro 8? Estas soluções naturais mimetizadas e aplicadas no ambiente construído poderiam realmente atender aos créditos dos sistemas de certificação?

R: Acredito que a equipe multidisciplinar sugerida pelo autor é o ideal mesmo para esta classificação.

6- O objetivo geral seria atingido através desta ferramenta, se fosse melhor desenvolvida em estudos futuros? A ferramenta impulsiona e norteia a geração de ideias de design na sua opinião? Mesmo sabendo que os sistemas de certificação não certificam produtos, acredita que esta ferramenta poderia facilitar às edificações a obterem certificação ou ao menos serem mais sustentáveis?

R: Sim, com certeza. Acredito muito na ciência da biomimética e nos estudos que podem ser realizados sobre o assunto.

Entrevistado: Arquiteto C

Cargo / qualificação: Arquiteto / LEED AP

QUESTIONÁRIO

Comentários gerais:

O assunto de biomimetismo é um assunto muito interessante e importante para a área de eficiência energética e conforto ambiental dentro da construção civil. Como foi mencionado, a sua dissertação é um bom início para profissionais buscarem subsídios na natureza em relação a estratégias de eficiência energética e conforto ambiental. Porém, conforme já havíamos conversado, ainda falta responder com um pouco mais de profundidade e exemplos as perguntas da introdução que foram muito bem colocadas.

“Como consumir menos energia e manter o conforto térmico no ambiente interior?”

A resposta que obtive através do texto é que utilizando a ferramenta proposta o profissional chegará a conclusão que ele tem que pesquisar. A minha sugestão é demonstrar a importância e as vantagens de se usar a ferramenta proposta com exemplos de situações. Posso exemplificar um pouco melhor: no caso de utilizar o cupinzeiro para obter maior ventilação eu faria a seguinte analogia simplificada. O cupinzeiro utiliza o subsolo para troca de calor e troca o ar com o exterior, bem, seria uma casa com subsolo, paredes com isolamento térmico e aberturas (janelas). Agora, para ir além da eficiência convencional e responder a pergunta feita na introdução, seria necessário algo como um sistema geotérmico. Este, seria o cenário que, na minha visão, mais se aproxima do sistema de um cupinzeiro. Então, a partir deste ponto, a adaptação para cada projeto é por conta do profissional.

Certificação

O texto usa os critérios dos sistemas de certificação como ferramenta de medição. O que está perfeito. Apenas lembrar e deixar claro que a certificação não melhora a eficiência ou o conforto da edificação, esta apenas confirma se os resultados das estratégias adotadas atendem os critérios exigidos.

Entrevistado: Professora D

Cargo / qualificação: Professora de zoologia da UFPR

QUESTIONÁRIO

1- O que acha da formatação base da ferramenta? Ela pode ajudar no atendimento do objetivo geral exposto?

R: Me parece que sim. Inclusive sugiro incluir imagens, fotos ou desenhos dos princípios funcionais fisiológicos ou comportamentais na ferramenta. E na minha opinião precisa de maior coerência, então os créditos deveriam ser de alguma forma pontuados e a classificação final da ferramenta em MP, BP, B ou NC deveria ser de forma automática, assim que o usuário definisse as pontuações estabelecidas para cada critério. Senão, não precisaria dos créditos dos sistemas de certificação, e as soluções naturais poderiam ser classificadas diretamente.

2- A ferramenta deve ser inserida como uma das etapas no desenvolvimento de um produto. Concorde que ela pode auxiliar e talvez no futuro sistematizar o processo de biomimetização?

R: Como eu não tenho prática de desenvolvimento de produto não posso afirmar com certeza, mas me parece que sim.

3- O que acha dos créditos, critérios e pré requisitos selecionados para inserção e valorização na ferramenta exemplo, através dos quadros 2, 3, 4, 5 e 6? Outros deveriam ser inseridos?

R: Acredito que a forma como a ferramenta foi classificada está correta. Mas, uma observação é que como explicado pela autora, os sistemas de certificação pontuam de acordo com números e porcentagens, e as soluções biológicas que serão aplicadas não têm como serem analisadas inicialmente de forma quantitativa. Então concordo com a forma de classificação de acordo com melhores ou piores práticas e não de acordo com números precisos. Sugiro que seja classificado inicialmente em Sim, Médio ou Não, para assim atribuir notas e desta forma qualificar de acordo com esta pontuação atingida. E ainda minha sugestão é não classificar da mesma forma que um dos sistemas de certificação o faz, para que não haja confusão entre os usuários da ferramenta, ao se acreditar que poderia ser uma garantia de certificação AQUA; e sim classificar de uma forma própria de critérios da ferramenta.

4- E o quadro 7? Ele te inspira a projetar biomimeticamente?

R: Não se aplica no meu caso por não trabalhar com desenvolvimento de projetos.

5- Poderia ser de que maneira a classificação estabelecida no quadro 8? Estas soluções naturais mimetizadas e aplicadas no ambiente construído poderiam realmente atender aos créditos dos sistemas de certificação?

R: Já respondida na pergunta 3.

6- O objetivo geral seria atingido através desta ferramenta, se fosse melhor desenvolvida em estudos futuros? A ferramenta impulsiona e norteia a geração de ideias de design na sua opinião? Mesmo sabendo que os sistemas de certificação não certificam produtos, acredita que esta ferramenta poderia facilitar às edificações a obterem certificação ou ao menos serem mais sustentáveis?

R: Acredito que sim. Os produtos da natureza, as espécies, estão sujeitas a seleção natural. A natureza está fazendo testes o tempo todo, um dos exemplos disso é o surgimento de novas espécies. Na natureza, errar pode, mas se uma solução biológica errar, ela pode ser levada à extinção. Outra observação é que existem milhões de espécies, mas não existem milhões de soluções, elas são muito convergentes, porque dependem de leis básicas de química e física. Então, as soluções, mesmo em organismos muito diferentes, são muito recorrentes. Identificar estas soluções genéricas, é ótimo. Elencar estas propostas permite perceber que já existe naturalmente estratégias de solução dos problemas. Esta ferramenta provavelmente deve ajudar bastante a sistematizar idéias.